

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова  
Общество физиологов растений России  
Научный совет по физиологии растений и фотосинтезу РАН  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН

**Годичное собрание  
Общества физиологов растений России**

Всероссийская научная конференция  
с международным участием

**ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ  
СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ**

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Москва, Россия  
2-6 июня 2013 г.

МОСКВА  
2013

*Оргкомитет конференции благодарит Российский фонд фундаментальных исследований (грант № 13-04-06032\_г) за финансовую поддержку при проведении конференции и издании сборника тезисов.*

В настоящем сборнике представлены тезисы Всероссийской научной конференции «Инновационные направления современной физиологии растений». Сборник предназначен для физиологов, биохимиков и молекулярных биологов растений, ботаников, экологов.

## УЧАСТНИКАМ КОНФЕРЕНЦИИ

Проведение конференции с таким широким названием — «Инновационные направления современной физиологии растений» — с одной стороны, есть дань общественным запросам, основанным на желании оценить реальное участие исследователей в решении сегодняшних экономических проблем, а с другой — отражение естественного стремления научного сообщества к регулярному анализу своего места в мировом интеллектуальном пространстве и своих возможностей в решении локальных практических задач.

И то, и другое представляется тем более уместным, что отечественная физиология растений получила признание в качестве самостоятельной и самодостаточной научной области ботаники ровно 150 лет тому назад выделением в составе Российских университетов кафедры анатомии и физиологии растений, отдельной от кафедры ботаники. Используя современную терминологию, можно утверждать, что физиология растений, взявшая на себя задачу теоретического обоснования многих приемов растениеводства, выступала и выступает как источник инновационных идей, способствующих увеличению продукционного и ремедиационного потенциала растений.

Представленные в настоящем сборнике материалы демонстрируют значительную широту экспериментальных и теоретических интересов исследователей, которые вполне коррелируют с направлениями работ, проводимых в других странах. При этом достаточно четко прослеживается тенденция большего вовлечения идей и методов молекулярной биологии и молекулярной генетики в решение физиологических задач, что соответствует мировому уровню. Однако не менее четко проявляется и крен в сторону исследований по экологической физиологии, часто основанных на менее затратных методах и материальных ресурсах. Безусловно, инновационным является направление, базирующееся на биотехнологических и биоэкономических принципах. Но, пожалуй, именно здесь сложности взаимодействия фундаментальной науки и бизнеса проявляются наиболее выпукло.

Развитие физиологии растений в нашей стране многие десятилетия связано с университетами как источниками кадров и как экспериментальной базой для апробации новых научных и практических идей. 150-летний опыт участия университетов в этой работе — достаточно весомый повод проа-

нализировать результаты, поделиться успехами и неудачами на этом пути. Состояние работ у наших коллег из Украины и Белоруссии представляет большой интерес, а поиск способов интеграции, согласования и организации совместных работ кажется вполне естественным.

Обсуждение проделанных работ и планов исследований будет способствовать оптимизации развития физиологии растений как целостного научного направления у нас в стране, хотя очевидно, что без принципиального изменения отношения к этой области как к важной составляющей фундаментальных наук о жизни, нуждающейся в поддержке со стороны государства и производства, ожидания общества не будут оправдываться в полной мере.

Председатель программного комитета конференции,  
заведующий кафедрой физиологии растений  
биологического факультета  
МГУ имени М.В.Ломоносова,  
д.б.н., профессор

И.П. Ермаков

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

**Ермаков И.П.** (*председатель*) — доктор биологических наук, профессор, руководитель направления по организационным вопросам, заведующий кафедрой физиологии растений биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Москва

**Кузнецов Вл.В.** (*заместитель председателя*) — доктор биологических наук, чл.-корр. РАН, директор Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

**Носов А.М.** (*заместитель председателя*) — доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, зав. отделом биологии клетки и биотехнологии Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

**Аверчева О.В.** (*ответственный секретарь*) — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Москва

**Веселов А.П.** — доктор биологических наук, заведующий кафедрой биохимии и физиологии растений Нижегородского государственного университета, Н.Новгород

**Зарипова Н.Р.** (*ответственный секретарь*) — кандидат биологических наук, научный сотрудник Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

**Жмурко В.В.** — доктор биологических наук, заведующий кафедрой физиологии и биохимии растений биологического факультета Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

**Журавлев Ю.Н.** — академик РАН, директор Биолого-почвенного института Дальневосточного отделения РАН, Владивосток

**Карначук О.В.** — доктор биологических наук, заведующая кафедрой физиологии растений и биотехнологии Томского государственного университета, Томск

**Киселева И.С.** — кандидат биологических наук, заведующая кафедрой физиологии и биохимии растений Уральского государственного университета им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

**Кузнецов В.В.** — доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией экспрессии генома, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

**Лось Д.А.** — доктор биологических наук, заведующий лабораторией молекулярных основ внутриклеточной регуляции, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

**Максимов Т.Х.** — доктор биологических наук, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск

**Медведев С.С.** — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии и биохимии растений биолого-почвенного факультета Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург

**Романов Г.А.** — доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией сигнальных систем контроля онтогенеза, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

**Саляев Р.К.** — чл.-корр. РАН, директор Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, профессор, заведующий кафедрой физиологии растений и клеточной биологии Иркутского государственного университета, Иркутск

**Таран Н.Ю.** — доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой физиологии и экологии растений Учебно-научного центра «Институт биологии» Киевского национального института им. Тараса Шевченко, Киев, Украина

**Хохлова Л.П.** — доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физиологии и биохимии растений Института фундаментальной медицины и биологии Казанского (Приволжского) федерального университета, Казань

**Хрянин В.Н.** — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии и биохимии растений Пензенского государственного университета, Пенза

**Чуб В.В.** — доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии растений биологического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, Москва

#### **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:**

**Зарипова Н.Р.** (*ответственный секретарь*) — кандидат биологических наук, научный сотрудник Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва

**Аверчева О.В.** (*ответственный секретарь*) — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета, Москва

**Кочкин Д.В.** — кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета, Москва

**Кочетова Г.В.** — кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета, Москва

**Сидоренко Е.С.** — научный сотрудник кафедры физиологии растений биологического факультета, Москва

**Титова М.В.** — кандидат биологических наук, ведущий инженер кафедры физиологии растений биологического факультета, Москва

**СЕКЦИЯ 1**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ РАСТЕНИЯ  
И СПОСОБЫ ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ**

**ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ЭЛЕКТРОНОВ МЕЖДУ ТЕРМИНАЛЬНЫМИ ПУТЯМИ ЭЛЕКТРОН-ТРАНСПОРТНОЙ ЦЕПИ ДЫХАНИЯ ПРОРОСТКОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ДИСКРИМИНАЦИИ ИЗОТОПОВ КИСЛОРОДА**

**Абдрахимова Й.Р.<sup>1,2</sup>, Флорез-Сараса И.<sup>3,4</sup>, Шугаев А.Г.<sup>1</sup>, Рибас-Карбо М.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия;

<sup>2</sup>Казанский федеральный (Приволжский) университет, Казань, Россия;

<sup>3</sup>Институт молекулярной физиологии растений Макс Планка, Потсдам, Германия;

<sup>4</sup>Университет Балеарских островов, Пальма-де-Майорка, Испания.

E-mail: yoldez@mail.ru

Как известно, митохондрии растений наряду с основным, цитохромным путем ЭТЦ митохондрий обладают альтернативным цианидрезистентным дыханием (ЦРД) с редуцированным синтезом АТФ. Постулируется активация ЦРД при действии неблагоприятных факторов, в том числе низких температур, поскольку считается, что это может предотвращать чрезмерную генерацию активных форм кислорода. Однако проблема оценки реального участия ЦРД в общем дыхании на настоящий момент остается трудноразрешимой, особенно в условиях *in situ* и *in vivo*, так как для этих целей используются ингибиторы дыхания, которые, как правило, вызывают побочные эффекты и/или перераспределение электронных потоков. Важное преимущество в данном отношении имеет методика оценки дискриминации изотопов кислорода (ИК) (по отношению  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ), основанная на различной способности терминальных оксидаз к разрыву связи в молекулах кислорода. Для целого ряда видов показано, что дискриминация ИК для цитохромоксидазы и альтернативной оксидазы составляет 18–20% и 24–31%, соответственно (Ribas-Carbo et al., 2005). Следовательно, дискриминационный шифт с 20% до 30% указывает на степень участия ЦРД в общем дыхании. Объектом исследований служили этиолированные проростки озимой пшеницы *Triticum aestivum* L. Мироновская 808, выращенные 3 сут при 24°C, и затем подвергнутые холодовой обработке (4°C, 3сут). Фракционирование ИК измеряли на масс-спектрометрической установке *Delta S, Thermo* (Germany). В отсутствие ингибиторов дыхания дискриминация ИК для образцов (колеоптиль+первый лист) было равным 22.7% и 23.4% до и после холодового воздействия с понижением доли ЦРД с 0.35 до 0.3. Общее дыхание составляло 64–69 нмоль O<sub>2</sub> (г сухого веса ч)<sup>-1</sup> и не изменялось после холодового воздействия, тогда как при пересчете на сырую биомассу оно увеличивалось почти на 20% из-за повышения скорости цитохромного дыхания. Различие в результатах при пересчете на сухой или сырой вес было обусловлено существенной разницей в накоплении сухой биомассы контрольных (7.6%) и закаленных к холоду (9.5%) растений. Гипотермия практически не изменяла потенциальную активность (емкость) ЦРД, определяемую в присутствии цианида. Эти факты указывают на то, что холодовая обработка проростков пшеницы не повышала реальную и потенциальную активности альтернативной оксидазы *in vivo*. Результаты будут обсуждены в соответствии с ранее полученными данными на выделенных митохондриях.

Работа частично поддержана грантами Программы развития КФУ и РФФИ (№13-04-01828).



## **ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОПРЕОБРАЗУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ В ХЛОРОПЛАСТАХ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ, ВЫРАЩЕННЫХ ПРИ ОСВЕЩЕНИИ УЗКОПОЛОСНЫМ СВЕТОМ РАЗНОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ**

**Аверчева О. В., Бассарская Е. М., Птушенко В. В., Жигалова Т. В.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: olga.avercheva@gmail.com*

Свет — важный фактор регуляции роста и развития растения, формирования и функциональной активности его фотосинтетического аппарата (ФСА). В последние годы активно исследуется рост и развитие растений, выращенных при освещении светодиодами — новыми узкополосными источниками освещения, перспективными с точки зрения светокультуры. Однако особенности действия узкополосного света на структуру и активность ФСА исследованы мало.

В качестве объекта в работе использовали 9-дневные проростки ячменя. Растения выращивали при освещении источниками света на основе светодиодов с разными максимумами испускания: красными (660 нм), желтыми (590 нм), зелеными (535 нм) и синими (450 нм). Контролем служили растения, выращенные при освещении люминесцентными лампами. Плотность потока фотосинтетически активных фотонов во всех вариантах составляла 60–70 мкмоль/(м<sup>2</sup> с), фотопериод — 16/8 часов. Исследовали морфометрические параметры, содержание фотосинтетических пигментов, функциональную активность электрон-транспортной цепи хлоропластов (ЭТЦ) *in vivo*, работу ЭТЦ и активность фотофосфорилирования на изолированных хлоропластах.

Сухая и сырая масса первого листа 9-дневных растений ячменя практически не зависела от спектрального состава света, использованного для выращивания растений. Выращивание растений при освещении желтым и зеленым светом приводило к некоторому снижению содержания фотосинтетических пигментов по сравнению с контролем. Работа ЭТЦ у растений, выращенных на красном свете, практически не отличалась от контроля. У растений, выращенных на синем свете, показатель нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла (NPQ) имел иную кинетику индукции, чем в контроле; в остальном работа ЭТЦ этих растений также не отличалась от контроля. У растений, выращенных на желтом и зеленом свете, ряд показателей работы ЭТЦ был снижен по сравнению с контролем. Существенные различия наблюдались на уровне фотофосфорилирующей активности изолированных хлоропластов: активность нециклического фотофосфорилирования на синем свете была вдвое выше, чем в контроле, на красном и оранжевом свете — в 1,5–2 раза ниже, а на зеленом свете — не отличалась от контроля. При этом показатель ΔpH на тилакоидных мембранах практически не отличался у всех исследованных растений. Обсуждается возможная регуляция спектральным составом света субъединичного состава и каталитической активности АТФ-синтазного комплекса хлоропластов.

## УЧАСТИЕ АПОПЛАСТНОЙ ИНВЕРТАЗЫ В РЕГУЛЯЦИИ ФОТОСИНТЕЗА И ТРАНСПОРТА АССИМИЛЯТОВ

**Баташева С. Н., Бакирова Г. Г., Хамидуллина Л. А., Салыхова Г. А., Чиков В. И.**

ФГБУН Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань, Россия

E-mail: sbatashева@mail.ru

Исследовали фотосинтез, транспорт ассимилятов и образование конечных продуктов фотосинтеза у растений картофеля (*Solanum tuberosum L.*, сорт Дезире), в апопласте которых экспрессировался ген дрожжевой инвертазы (*inv*) под контролем промотора пататина класса I (В-33) («В33-*inv*» растения). У этих растений активность внеклеточной инвертазы повышена, главным образом, в клубнях, однако некоторое повышение активности наблюдается и в листьях. Было показано, что листья трансформантов, по сравнению с растениями дикого типа, имели пониженные показатели интенсивности фотосинтеза. Относительное содержание  $^{14}\text{C}$  в сахарозе, олигосахаридах и соотношение меченых сахароза/гексозы в донорных листьях В33-*inv* растений было выше, а содержание аминокислот — ниже, чем в растениях дикого типа. При этом у трансформированных растений повышался экспорт меченых ассимилятов, а также существенно изменялся состав образующихся конечных продуктов фотосинтеза в органах-акцепторах ассимилятов — уменьшалось содержание  $^{14}\text{C}$  в низкомолекулярных веществах и полисахаридах, но усиливалось образование белковых веществ. В листе-доноре  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов под действием дополнительной инвертазы увеличивалась доля белков и целлюлозы, а содержание  $^{14}\text{C}$  в крахмале уменьшалось по сравнению с исходным типом растений. Пониженный фотосинтез трансформированных растений отразился на их продукционных процессах: через месяц после посадки они имели в 2–3 раза меньшую надземную массу, а потеря урожая составила около 40%, однако соотношение массы ботвы и клубней не отличалось от контроля. Оказалось, что роль апопластной инвертазы значительно возрастает при выращивании растений в условиях пониженного освещения. Наиболее контрастные различия в образовании различных  $^{14}\text{C}$ -соединений в ходе фотосинтеза наблюдались при освещенности выращивания 25% от полной солнечной. При всех освещенностях у В33-*inv* растений наблюдалось более высокое включение  $^{14}\text{C}$  в олигосахара, что может указывать на изменение состава транспортируемых продуктов фотосинтеза. При освещенности выращивания 50% и 25% от полной солнечной формирование урожая у трансформированных растений шло эффективнее, чем у растений дикого типа, что проявилось в соотношении массы клубней и ботвы и конечном урожае клубней. Обсуждается роль апопластной инвертазы в регуляции углеродного метаболизма, транспорта ассимилятов и формировании урожая, в том числе при неблагоприятных условиях освещения.

## ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА ГЕНЕРАЦИЮ МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦИАЛА МИТОХОНДРИЙ РАСТЕНИЙ

Буцанец П. А.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*  
*E-mail: p.corbeau@list.ru*

Салициловая кислота (СК) — фитогормон фенольной природы, участвующий в регуляции многих физиологических процессов растений. СК участвует в сигнальной регуляции экспрессии генов защитных белков и выполняет роль естественного индуктора термогенеза при действии биотических и абиотических факторов среды, контролирует процесс синтеза этилена при созревании плодов. Кроме того, обладая свойствами протонофора, СК способна влиять на трансмембранный перенос ионов в клетке. Однако мало известно о механизме действия СК на процессы окисления и фосфорилирования, а также на генерацию трансмембранного потенциала ( $\Delta\psi$ ) в митохондриях растительных клеток. В работе использовали этиолированные семядоли 4-дневных проростков люпина желтого (*Lupinus luteus L.*). Митохондрии выделяли методом дифференциального центрифугирования. Дыхательную активность интактных органелл изучали по поглощению кислорода на приборе *Oxytherm (Hansatech Instruments, UK)*. Изменение генерации  $\Delta\psi$  регистрировали на двулучевом спектрофотометре *Hitachi-557* с использованием красителя сафранин О.

Изолированные митохондрии характеризовались высокой скоростью окисления дыхательных субстратов в состоянии 3 (в присутствии АДФ), обладали прочным сопряжением процессов окисления и фосфорилирования и близким к теоретическим величинам отношения АДФ/О. Митохондрии обладали способностью к быстрой генерации  $\Delta\psi$  при добавлении дыхательных субстратов и его поддержанию в течение продолжительного времени инкубации органелл. Кроме того, обратимая диссипация  $\Delta\psi$  при фосфорилировании АДФ подтверждает высокую функциональную активность выделенных митохондрий семядолей люпина желтого. СК снижала величину  $\Delta\psi$ , амплитуда которого была обусловлена концентрацией фитогормона, добавленной в среду реакции, и не зависела от типа окисляемого субстрата. В концентрациях до 1.0–2.0 мМ СК оказывала слабое разобщающее действие, увеличивая скорость окисления субстратов в состоянии 4, снижая величину  $\Delta\psi$  и увеличивая время синтеза АТФ. Увеличение концентрации СК в реакционной среде до 5.0 мМ приводило к практически полной диссипации потенциала, что коррелировало с ингибированием фосфорилирующего дыхания митохондрий, регистрируемого полярографически. Тем не менее, в течение инкубации митохондрий даже в присутствии относительно низких концентраций СК часто наблюдалось постепенное снижение величины  $\Delta\psi$  при окислении малата в присутствии глутамата.

## ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА *SOLANUM TUBEROSUM* В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКЦИИ МИКРОТРУБОЧЕК

**Власова Н.С.**

*Орловский государственный университет, Орел, Россия*

*E-mail: www.tortik@inbox.ru*

В настоящее время всё большее внимание уделяется изучению цитоскелета. Известно, что это высокодинамичная и полифункциональная структура, принимающая участие во многих ключевых процессах, проходящих в растительной клетке. Кроме того, цитоскелет является опорой для протекания большинства биохимических процессов. Однако, работы по установлению взаимосвязи цитоскелета и биохимических реакций в растительном организме немногочисленны. Поэтому целью работы было изучение влияния целостности микротрубочек на некоторые энергетические процессы у *Solanum tuberosum*. Разрушение микротрубочек производили 1мМ раствором колхицина путём опрыскивания растений, выращенных в почвенной культуре, через 15 дней после появления всходов. Разборка тубулинового цитоскелета почти в два раза увеличила активность лактатдегидрогеназы в листьях картофеля. Это может указывать на активацию колхицином процесса гликолиза. Одновременно, под действием данного деполимеризирующего агента наблюдалось повышение активности щелочной фосфатазы. Возможно, следствием активации этих ферментов стало накопление фосфора в варианте с колхицином (на 50%). Подтверждением этого являются данные об ингибировании колхицином синтеза АТФ в процессе фотофосфорилирования. Таким образом, полученные данные показывают, что целостность тубулинового цитоскелета во многом определяет энергетические процессы в растительной клетке.

## ПОСЛЕСВЕТОВАЯ АССИМИЛЯЦИЯ УГЛЕРОДА ЛИСТЬЯМИ $C_3$ И $C_4$ -РАСТЕНИЙ

**Воронцов В. А., Балаур Н. С.**

*Институт Генетики и Физиологии растений АН РМ, Кишинев, Молдова*

*E-mail: Vorontsov2000@front.ru*

Известно, что послесветовая ассимиляция  $CO_2$  листьями  $C_3$  и  $C_4$ -растений обеспечивается пулом промежуточных продуктов цикла Кальвина, АТФ и НАДФ·Н<sub>2</sub>, содержание которых уменьшается после затенения листьев. Особенно резко и необратимо убывает пул рибулозо-ди-фосфата (РДФ) — первичного акцептора  $CO_2$  у  $C_3$ -растений, так как превращение пентозомонофосфатов в РДФ ингибируется сразу же после выключения света. Изучали кинетику послесветовой ассимиляции  $CO_2$  в листьях у сортов различных родов  $C_3$ -растений — *Triticum*, *Secale*, межродового гибрида *Triticale* и  $C_4$ -растений (*Zea mays L.*), выращенных в условиях полевого опыта.  $CO_2$ -обмен изучали с применением монитора фотосинтеза РТМ 48А фирмы “BioInstruments” (Молдова). Установлено, что характерные временные параметры послесветовой ассимиляции  $CO_2$  на кинетической кривой листьев сортов  $C_3$ -растений указанных родов практически совпадают и колеблются в пределах от 10 до 25 сек, в то время как у  $C_4$ -растений более длительны, достигая 100 сек. Такая

разница временных характеристик может быть объяснена размерами фондов первичных акцепторов  $\text{CO}_2$  — рибулозодифосфата у  $\text{C}_3$ - и фосфоенолпирувата у  $\text{C}_4$ -растений. Анализ кинетических кривых  $\text{CO}_2$  обмена, полученных после выключения света, привело к предположению, что они являются суперпозицией нескольких процессов: поглощения  $\text{CO}_2$  молекулами РДФ и ФЭП, выделения  $\text{CO}_2$  при фотодыхании и митохондриальном дыхании.

## **АКТИВНОСТЬ, ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ И СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ОКСИДАЗЫ ПРИ ДЕЭТИОЛЯЦИИ ЛИСТА ПШЕНИЦЫ**

**Гармаш Е. В.<sup>1</sup>, Грабельных О. И.<sup>2</sup>, Велегжанинов И. О.<sup>1</sup>, Боровик О. А.<sup>2</sup>,  
Войников В. К.<sup>2</sup>, Головки Т. К.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар

<sup>2</sup>ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск

E-mail: [garmash@ib.komisc.ru](mailto:garmash@ib.komisc.ru)

Нефосфорилирующий альтернативный путь дыхания (АП) является важным механизмом регуляции гомеостаза клетки при метаболических флуктуациях (Rasmusson et al., 2009). В данной работе изучено вовлечение АП в процессе деэтиоляции проростков яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L., с. Иргина) на непрерывном свете ( $190 \text{ моль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ) в течение 48 ч. Максимальная скорость дыхания обнаружена на более поздних этапах деэтиоляции (4–12 ч освещения), когда тилакоидная система хлоропластов уже сформирована, но фотосистемы полностью не развиты (Garmash et al., 2013, in press). Повышение скорости дыхания сопровождалось активацией АП. Доля АП возрастала и достигала наибольшего значения (50% общего дыхания листа) в период от 4 до 6 ч зеленения. Положительная линейная связь ( $R^2=0.8$ ) между скоростью тепловыделения и альтернативного дыхания свидетельствует об участии АП в диссипации энергии. Митохондрии, выделенные в первые 3–6 ч зеленения, также характеризовались более высокой окислительной активностью при использовании различных субстратов (малат, сукцинат, НАДН) и повышенным участием АОХ в дыхании. Вовлечение АП достигалось за счет экспрессии генов АОХ, главным образом, АОХ1а. Экспрессия второго идентифицированного в листе пшеницы гена, кодирующего АОХ–АОХ1с, происходила комплементарно к АОХ1а. Отсутствие явной корреляции между количеством белка АОХ и его активностью указывало на существование в клетке дополнительных механизмов регуляции активности фермента. Одной из причин могло быть ограничение в доступности дыхательного субстрата (растворимых углеводов). Отмечено сходство динамики вовлечения АП и активации фотопротекторных механизмов диссипации энергии в хлоропластах зеленеющих проростков пшеницы, что указывает на связь и сбалансированность работы защитных систем фототрофных клеток. В целом, результаты работы свидетельствуют в пользу представлений об участии АП дыхания в поддержании гомеостаза фотосинтезирующей клетки в период становления фотосинтетической функции.

Авторы благодарят А.И. Катышева за подбор праймеров исследуемых генов. Работа поддержана грантом Уральского отделения РАН № 12-У-4-1008.

**СООТНОШЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ОКИСЛЕНИЯ ДЫХАТЕЛЬНЫХ СУБСТРАТОВ  
В МИТОХОНДРИЯХ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ К НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ  
ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

**Генерозова И. П., Буцанец П. А., Шугаев А. Г.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии  
растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия  
E-mail: igenerozova@mail.ru*

Дыхание растений реагирует на воздействие условий окружающей среды. Исследовали влияние на этиолированные 2-дневные проростки гороха сорта Флора-2 пониженной с 25° до 15°С температуры, засухи (переносили проростки на сухую фильтровальную бумагу) и совместного действия этих факторов в течение 1 суток. Затем проростки возвращали в стандартные темновые условия на 2 суток, после чего оценивали рост, а также выделяли митохондрии из эпикотилей по стандартной методике. Дыхание определяли при температуре 26° и 15°С с помощью полярографа LP-7 (Чехия) и на приборе Oxytherm Hansatech instruments (UK). Окисление малата и сукцината осуществляли в присутствии глутамата для устранения оксалоацетата. Скорость дыхания в состоянии 3 возрастала по мере роста и достигала у 4–5 дневных проростков 350 натомов О/мин/мг белка, дыхательный контроль (ДК) при окислении малата — больше 5. Соотношение скоростей окисления митохондриями малата к сукцинату возрастало от 0.48 у 2-дневных проростков до 1.2 у 4–5-дневных проростков. Стрессовые воздействия не только затормозили рост, но и подавили скорость окисления субстратов. При этом дыхательный метаболизм оставался в ювенильном состоянии: соотношение скорости окисления малата к сукцинату в состоянии 3 после действия холода было 0.8, после засухи — 0.52, после холода-засухи — 0.4. Примерно такой же «понижающийся ряд» был у показателей средней длины эпикотилей после стрессов — 18, 15 и 11 мм. ДК на малате сохранился в районе 3 после всех воздействий. При температуре 15°С в ячейке скорость окисления малата понижалось до примерно одной и той же величины в районе 60 натомов О/мин/мг белка после всех примененных воздействий на растения. Скорости окисления сукцината, напротив, подавлялись неравномерно: слабее всего она подавлялась в варианте после холода-засухи. Соотношение скоростей окисления малата к сукцинату повторяло тот же понижающийся ряд: 0.63, 0.56, 0.38 соответственно после холода, засухи и холода с засухой. ДК на сукцинате снизился до 2, на малате он был самым высоким после засухи. Таким образом, неблагоприятные воздействия на целое растение подавляли рост эпикотилей, подобно тому, как снижалось отношение скорости окисления малата к скорости окисления сукцината. Полученные данные показали, что изолированные митохондрии непосредственно воспринимают действие холода, а также способны сохранять последствия неблагоприятного воздействия пониженной температуры на целое растение.

**ФОСФОРНОЕ ПИТАНИЕ, ФОТОСИНТЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ И ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

**Гуляева А. Б.<sup>1</sup>, д.б.н., проф. Курьята В. Г.<sup>2</sup>, Богдан М. М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физиологии растений и генетики  
Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Винницкий национальный педагогический университет  
им. Михаила Коцюбинского, г. Винница, Украина  
E-mail: anna\_gulaeva\_2012@mail.ru*

Проблема фосфорного питания обусловлена труднодоступностью этого элемента для растений, отсутствием альтернативных источников восстановления его запасов, а так же ограниченности запасов фосфорных удобрений.

В ходе исследования на протяжении 2002–2011 гг с растениями различных морфогенетических типов сахарной свеклы и озимой пшеницы установлено, что фосфорный стресс приводил к ухудшению усвоения основных элементов питания растениями сахарной свеклы и озимой пшеницы, снижению интенсивности фотосинтеза, темнового дыхания и транспирации, а так же увеличению соотношения фотодыхание/фотосинтез и темновое дыхание/фотосинтез, повышению сопротивления диффузии CO<sub>2</sub>, уменьшению содержания хлорофилла *a* и *b*. В этих условиях снижалась продуктивность растений и качество урожая.

Основой оптимизации фосфорного питания биологически активными веществами была идея воздействия на различные его звенья.

Улучшение обеспечения растений фосфором в ризосферной части почвы предпосевной обработкой семян сахарной свеклы и озимой пшеницы препаратом Альбобактерин (бактерии вида *Achromobacter album* штамм 1122) способствовало повышению содержания в почве ассоциативных азотфиксаторов, улучшению усвоения азота и фосфора растениями, содержанию зеатин-рибозида в листьях, повышению интенсивности фотосинтеза, темнового дыхания. В результате бактеризации наблюдалось повышение продуктивности растений сахарной свеклы (массы корнеплодов на 30% и выхода сахара на 36%), а так же зерновой продуктивности растений озимой пшеницы на 10–14%, содержания белка в зерне на 0,7%.

Оптимизация соотношения масс вегетативных и продуктивных органов растений сахарной свеклы регулятором роста с антигиббереллиновым эффектом хлормекватхлорида и его смесью с эстроном в условиях дефицита фосфорного питания (0,5 н.) способствовала, повышению содержания хлорофилла *a* и *b*, интенсивности фотосинтеза, снижению сопротивления диффузии CO<sub>2</sub>. Обработка ретардантом повышала сахаристость корнеплодов (на 2,5%) и выхода сахара из корнеплода на 22%.

Оптимизация фосфорного питания благодаря продлению срока вегетации растений озимой пшеницы под действием триазолов и стробилуринов фунгицидного действия (пре-



парат Амистар Экстра 280 SC) интенсивность фотосинтеза, снижении фото — и темнового дыхания, повышение интенсивности транспирации. Это способствовало повышению зерновой продуктивности, содержанию в зерне азота и фосфора, белка и сырой клейковины.

## РЕГУЛЯЦИЯ ФОТОСИНТЕЗА И ПРОДУКТИВНОСТЬ СВЕТОКУЛЬТУРЫ ОГУРЦА В УСЛОВИЯХ ТЕПЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА

**Далькэ И. В., Григорай Е. Е.<sup>1</sup>, Табаленкова Г. Н., Головки Т. К.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми  
научного центра Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар, Россия*

*<sup>1</sup>ОАО «Пригородный», г. Сыктывкар, Россия*

*E-mail: dalke@ib.komisc.ru*

Оптимизация светового режима является одним из эффективных и доступных способов повышения продуктивности и качества урожая тепличной культуры овощей. В северо-европейских странах (Норвегия, Финляндия) разработана стратегия устойчивого использования световой энергии в тепличных хозяйствах. Создание современных технологий предполагает, наряду с решением технических вопросов, проведение исследований по биологическому обоснованию оптимизации факторов, обеспечивающих высокую продуктивность и качество урожая. Это особенно актуально для северных территорий России, существенно отличающихся по продолжительности фотопериода, количеству и качеству приходящей солнечной радиации.

Нами изучены закономерности влияния светового режима на фотосинтетическую деятельность и продуктивность тепличной культуры огурца (гибрид F<sub>1</sub> Церес) в зимний период при разных режимах освещения. Работу проводили в тепличном комплексе ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар). С помощью дополнительных ламп типа ДНаЗ-250 Вт/Reflux, устанавливаемых внутри не используемых для ухода за растениями и сбора урожая междурядий, оказывали существенное влияние на вертикальный градиент поступления фотосинтетически активной радиации (ФАР) к растениям. Листья наиболее продуктивного среднего и нижнего ярусов опытных растений получали в 1.5–2 раза больше света. Свет проникал и на противоположную сторону междурядья, улучшая условия для фотосинтетической деятельности листьев. Скорость видимого фотосинтеза листьев положительно коррелировала с освещенностью и достигала 10 мкмоль СО<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>с. Суммарное суточное поступление ФАР от всех ламп составляло около 13 моль/м<sup>2</sup>. Эффективность использования световой энергии листьями верхнего яруса варьировала в пределах 4–9%, среднего и нижнего яруса — 6–14%. Оптимизация режима включения/отключения дополнительных ламп позволила регулировать фонды накопления и реутилизации ассимилятов (крахмала) в листьях и обеспечить высокие темпы роста растений. Количество сборов плодов за оборот (120 сут) возросло вдвое, а урожайность увеличилась с 34 до 45 кг/м<sup>2</sup>. Получен патент на изобретение «Способ повышения продуктивности и рентабельность выращивания огурца в условиях защищенного грунта на Севере» (2012 г.).



**АКТИВНОСТЬ I КОМПЛЕКСА ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ И ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЛИПИДНОЙ ФРАКЦИИ МЕМБРАН МИТОХОНДРИЙ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ**

**Жигачева И. В., Мишарина Т. А., Теренина М. Б., Крикунова Н. И.,  
Генерозова И. П.<sup>1</sup>, Шугаев А. Г.<sup>1</sup>**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,*

*E-mail: zhigacheva@mail.ru*

*<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия,*

*E-mail: ag-shugaev@ippras.ru*

Смещение антиоксидантно—прооксидантного равновесия в сторону увеличения генерации активных форм кислорода (АФК) митохондриями приводит к развитию окислительного стресса. Это смещение происходит под действием стрессовых факторов и лежит в основе нарушения физиологических функций растительных организмов (снижения ростовых процессов, урожайности и т.д.). Как известно, водный дефицит снижает функциональную активность, как хлоропластов, так и митохондрий (А.Г. Шугаев с соавторами, 2007). В связи с этим интересно было выяснить, будут ли изменяться биоэнергетические характеристики митохондрий в условиях водного дефицита. Объектом исследования служили митохондрии 5-дневных этилированных проростков гороха. Недостаточное увлажнение имело следствием активацию свободно радикального окисления в мембранах митохондрий проростков гороха, о чем свидетельствует 3-кратный рост интенсивности флуоресценции продуктов ПОЛ. При этом приводили изменения в жирнокислотном составе мембран митохондрий. Соотношение ненасыщенных жирных кислот, содержащих 18 углеродных атомов к стеариновой, снижалось в 1,5 раза. Еще большие изменения наблюдались в содержании жирных кислот, содержащих 20 углеродных атомов: соотношение ненасыщенных жирных кислот к насыщенным снижалось в 3,3 раза. Трансформация физико-химических свойств мембран митохондрий сопровождалась 1,5-кратным снижением максимальных скоростей окисления NAD-зависимых субстратов. Изменения в максимальных скоростях окисления NAD-зависимых субстратов тесно коррелировали с изменениями в жирнокислотном составе мембран митохондрий (коэффициент корреляции Пирсона для C<sub>18</sub> жирных кислот равен 0,67649 и 0,9637 — для C<sub>20</sub> жирных кислот). Обработка семян гороха 3×10<sup>-9</sup>М раствором мелафена (меламиновой солью бис(оксиметил)-фосфиновой кислоты) снижала интенсивность ПОЛ до контрольных значений, предотвращая снижение содержания ненасыщенных жирных кислот в мембранах митохондрий и изменение биоэнергетических характеристик этих органелл. Делается предположение о роли C<sub>18</sub> и C<sub>20</sub> ненасыщенных жирных кислот в предупреждении нарушений функционирования I комплекса дыхательной цепи митохондрий проростков гороха в условиях недостаточного увлажнения.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ РАСТЕНИЯ: ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ****Комиссаров Г. Г.**

*Институт химической физики РАН, Москва, Россия  
E-mail: komiss@chph.ras.ru; gkomiss@yandex.ru*

Трактовка обозначенной в заголовке темы дана в рамках традиционного (1) и нового (2) подхода к механизму фотосинтеза (Комиссаров Г.Г. Фотосинтез: физико-химический подход, М.: Едиториал УРСС, 2003, 224с.). Базовые их отличия наиболее четко проявляются в написании основного уравнения процесса. В рамках (1) источником фотосинтеического кислорода (водорода) считается вода, в (2) — экзо- и эндо- пероксид водорода. По (1) тепловая энергия — «отброс фотосинтеза», в (2) она рассматривается как необходимый участник процесса. При малых интенсивностях света она отбирается от окружающей среды, при больших — наоборот. Тепловая энергия в «скрытом виде» входит и в (1). Минимальный потенциал разложения воды, широко фигурирующий в (1) — 1,23 В, требует подвода тепловой энергии. Термонеutralный потенциал разложения воды равен 1,47 В.

Энергетический метаболизм растения — не только биохимическая, но и физико-химическая проблема. Нами введено понятие локальной температуры хлоропласта, которая по оценкам достигает 70°С, время релаксации порядка 10<sup>-5</sup>с. Повышение температуры приводит к снижению величины перенапряжения в выделении молекулярного кислорода, увеличению скорости диффузии начальных и конечных продуктов реакций, проницаемости мембран хлоропластов, изменению диэлектрической проницаемости воды, величины растворимости газов. Пероксид водорода связывается с димерами хлорофилла предпочтительно по сравнению с водой, что подтверждено квантовомеханическими расчетами. Энергии связи равны соответственно 15,30 и 12,42 ккал/Моль.

Для оптимизации физиологических процессов, происходящих в растении, необходимо с новых позиций подойти к проблеме транспирации и фотодыхания. Решение ее позволит сократить потребление воды сельскохозяйственными растениями, что представляется чрезвычайно важным в связи с резким сокращением запасов пресной воды. Развиваемая концепция фотосинтеза позволяет наметить новые направления в селекции растений, повысить скорость их роста и понизить энергопотребление. Для реализации этого представляются перспективными физиологические исследования влияния чередующихся световых и тепловых воздействий, например, вызванных действием вспышек света видимого и инфракрасного диапазона. К.А.Тимирязев писал: «...определить соотношение между действующей силой и произведенной работой — вот та светлая, хотя, может быть, отдаленная задача, к достижению которой должны быть дружно направлены все силы физиологов». (Собр. соч. в 10 томах, Т.2, Сельхозгиз, 1937, с.18).

**ХЛОРОФИЛЛ: СТРОЕНИЕ, СОСТОЯНИЕ И ФУНКЦИЯ  
В ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОМ АППАРАТЕ.  
ОСНОВНЫЕ ВЕХИ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**А.А. Красновский мл.**

*Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В.  
Ломоносова; Институт биохимии им. А.Н.Баха Российской Академии наук*

Посвящается 100-летию со дня рождения академика  
АН СССР и РАН и профессора Московского государственного  
университета Александра Абрамовича Красновского.

Предполагается кратко описать вклад отечественной науки в изучение хлорофилла и его роли в фотосинтезе от времени первоначальных открытий Джозефа Пристли (1771 г.) до основополагающих работ академика Красновского и его школы, послуживших фундаментом для современной эры отечественных исследований. В доклад предполагается включить фотографии и биографические данные ключевых исследователей, которые сыграли важнейшую роль в развитии этой области знания, а также характеристика основных результатов их исследовательской, преподавательской и организационной деятельности.

**ПОСТУПЛЕНИЕ КАДМИЯ В ХЛОРОПЛАСТЫ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОТДЕЛЬНЫЕ  
ПАРАМЕТРЫ ФОТОСИНТЕЗА И РОСТ ПРОРОСТКОВ**

**Лысенко Е. А.<sup>1</sup>, Клаус А. А.<sup>1</sup>, Пшибытко Н. Л.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт биофизики и клеточной инженерии НАНБ, Минск, Беларусь*

*E-mail: genlysenko@mail.ru*

Кадмий является одним из наиболее токсичных тяжёлых металлов. Наиболее распространённые механизмы адаптации растений к присутствию кадмия — это ограничение его поступления в побег и ограничение его поступления в метаболически активные компартменты клеток, в том числе и в хлоропласты. Нам известны только 2 работы, в которых содержание кадмия изучали в высокоочищенных препаратах интактных хлоропластов растений. Результаты этих работ противоречивы: у одного вида на хлоропласты приходилось 0,02 % всего кадмия, а у другого — 15 %. Поэтому мы изучили, как в единых условиях эксперимента происходит накопления кадмия в тканях листа вообще и в хлоропластах в частности у двух видов растений — ячменя (сорт «Луч») и кукурузы (сорт «Лучистая»). Мы определили содержание кадмия в интактных хлоропластах, изолированных при помощи градиента перкола. Также было изучено влияние кадмия на рост проростков и на ряд параметров функционирования электрон-транспортной цепи хлоропластов.

Проростки двух видов растений практически не отличались по накоплению кадмия в корнях, а в тканях побега ячмень накапливал значительно меньшее количество кадмия, чем кукуруза. Однако в хлоропластах ячменя (при расчете на 1 мг хлорофилла) накапливалось

в три раза больше кадмия, чем у кукурузы. У ячменя в хлоропластах накапливалось более 1 % кадмия, поступившего в лист, а у кукурузы около 0,25 %.

В хлоропластах ячменя было обнаружено снижение нефотосинтетического тушения флуоресценции хлорофилла (быстрый компонент NPQ). У кукурузы такого эффекта обнаружено не было. Для сравнения был использован другой тяжёлый металл — медь. Медь уменьшала быстрый компонент NPQ у обоих видов растений.

Проростки ячменя и кукурузы реагировали на присутствие кадмия сходным образом. Однако на стадии 9 дневных проростков высоко токсичная, но не летальная концентрация кадмия (80 мкМ) подавляла рост и развитие ячменя сильнее, чем кукурузы.

Таким образом, у растения (ячменя), в хлоропласты которого поступает значительно больше кадмия, наблюдается изменение в работе фотосинтетического аппарата, и рост этого растения ингибируется сильнее.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-04-00068.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТРИПЛЕТНОГО СОСТОЯНИЯ ХЛОРОФИЛЛА А И ХЛОРОФИЛЛА D ИЗ ЦИАНОБАКТЕРИИ *ACARIOCHLORIS MARINA*

**Неверов К. В.<sup>1,2</sup>, Сантабарбара С.<sup>3</sup>, Красновский А.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт биохимии им. А.Н.Баха РАН, 119071 Москва, Ленинский пр-т, 33*

*E-mail: neverovk@mail.ru*

<sup>2</sup>*Биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова,*

*119992 Москва, Воробьёвы Горы, д.1, стр.12*

<sup>3</sup>*Институт биофизики, Национальный Совет Научных Исследований,*

*20133, у. Челория 26, Милан, Италия*

Как известно, фотосинтетические организмы содержат разные формы хлорофиллов (Хл), осуществляющих поглощение квантов света и преобразование световой энергии в фотосинтетических мембранах. В настоящее время вызывает большой интерес исследование организмов, содержащих «минорные» виды хлорофиллов, такие как Хл *d*, который является основным (до 95 %) фотосинтетическим пигментом морской одноклеточной цианобактерии *Acariochloris marina*. Хл *d* имеет более длинноволновый спектр поглощения и, следовательно, более низкий уровень синглетно-возбуждённого состояния. Это свойство, с одной стороны, может указывать на особенности световой адаптации Хл *d*-содержащих организмов, с другой — на вероятные отличия в фотохимических процессах.

Особый интерес представляет исследование параметров триплетного состояния хлорофиллов, ответственного за генерацию токсичного синглетного кислорода и фотоингибирование фотосинтетических процессов. При этом, если триплетное состояние Хл *a* достаточно хорошо исследовано, то Хл *d* в этом отношении изучен сравнительно слабо.

В данной работе мы изучали триплетное состояние Хл *d*, методом регистрации его низкотемпературной (77К) фосфоресценции. Впервые были получены данные об энергии триплетного состояния и его времени жизни в замороженных эфирных и водно-детергентных (2% Тритон X-100) растворах Хл *d*. Главный максимум фосфоресценции при 77 К находился

при 978 нм (полуширина пика 67 нм), что соответствует величине энергетического уровня триплетного состояния в 1,26 eV. Сравнение фосфоресценции Хл *d* с параметрами изученной нами ранее фосфоресценции Хл *a* и феофитина *a* (Фео) показало, что триплетное состояние Хл *d* имеет меньшую энергию. Время жизни фосфоресценции Хл *d* примерно вдвое меньше времени жизни фосфоресценции Хл *a* и совпадает с временем жизни фосфоресценции Фео *a*.

Кроме этого, в насыщенных воздухом растворах Хл *d* при 20°С нами была зарегистрирована фотосенсибилизированная генерация синглетного кислорода. Квантовый выход генерации  $^1\text{O}_2$  составил в гексафторбензоле 65%, что близко значениям, полученным ранее для Хл *a* и Фео *a* в органических и водно-детергентных средах. Интересно, что этот параметр для Фео *d* достигал 85%, что позволяет предположить возможность активного участия триплетных молекул Хл *d* и Фео *d* в фотоокислительных процессах, являющихся причиной фотоингибирования фотосинтетического аппарата у *A. marina* и других Хл *d*-содержащих организмов.

## ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СЕМЕНАХ РАСТЕНИЙ

Смоликова Г.Н.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

*E-mail: galina.smolikova@gmail.com*

Фотосинтетические процессы хорошо изучены в зеленых тканях, однако недостаточно исследованы в семенах высших растений. Известно, что на ранних стадиях эмбриогенеза пропластиды зигот превращаются в прегранальные пластиды, которые затем на стадии накопления запасных питательных веществ дифференцируются в хлоропласты и становятся фотосинтетически активными (Asokanthan, 1997). Хлоропласты семян отличаются высокой гранулярностью, повышенным содержанием Хл *b* по отношению к Хл *a* и каротиноидов по отношению к Хл, что связано с низкой интенсивностью света, проникающего сквозь семенные покровы. Интересно, что основная функция хлоропластов в семенах не связана с ассимиляцией  $\text{CO}_2$ . Около 70% НАДФН и АТФ, генерируемых в световых реакциях фотосинтеза, используются для превращения сахарозы, поступающей из материнского растения, в жирные кислоты (Ruuska, 2004). Т.е. световые фотосинтетические процессы в семенах необходимы для эффективного накопления запасных питательных веществ. При этом кислород, выделяющийся в результате фотоокисления воды, предотвращает гипоксию внутри развивающегося семени (Borisjuk, 2005). Однако по мере накопления запасных питательных веществ необходимость в фотосинтезе снижается и хлоропласты постепенно дедифференцируются в амило- и элайопласты, в которых накапливаются белки и жиры. Триггером этого процесса, по-видимому, является снижение уровня сахарозы.

По мере разрушения гранальной структуры хлоропластов Хл также начинают деградировать. Однако у многих видов растений Хл разрушаются не полностью и присутствуют в зрелых семенах в остаточных количествах. Неполное разрушение Хл связывают с влиянием материнского растения, а также с пониженной температурой и высокой влажностью воздуха при созревании семян. Предполагается, что АБК, которая регулирует в семенах процессы обезвоживания и переход в покоящееся состояние, также влияет на деградацию Хл.

Нами установлено, что физиологически зрелые семена с повышенным содержанием Хл более чувствительны к абиотическим стрессам (Булда и др. // Физиол. раст. 2008. Т.55. С. 604-611; Смоликова и др. // Физиол. раст. 2011. Т.58. С. 817-825). Механизм повреждающего действия Хл можно представить следующим образом: поскольку в пластидах зрелых семян тилакоидные мембраны разрушены, а система акцептирования электронов не функционирует, электроны от возбужденных светом Хл передаются на кислород с образованием  $O_2$ , что приводит к индукции свободно-радикальных реакций.

Работа поддержана грантом РФФИ 11-04-00701.

## **РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ИЗМЕНЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ К ПРОГРЕВУ У ГОРОХА ПОСЕВНОГО (*PISUM SATIVUM L.*)**

**Сурова Л. М., Шерстнева О. Н., Мысягин С. А., Сухов В. С.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний  
Новгород, Россия*

*E-mail: lyubovsurova@mail.ru*

В естественных условиях растения подвержены действию высокотемпературного стресса, поэтому изучение механизмов адаптации к действию таких стрессоров является весьма актуальным. Электрические сигналы (ЭС) могут влиять на многие физиологические процессы и играть определённую роль в адаптации растения к действию неблагоприятных факторов, что, однако, мало исследовано.

Анализ параметров фотосинтеза осуществляли с помощью РАМ-флуориметра Dual-РАМ-100 и инфракрасного газоанализатора GFS-3000. ЭС вызывали ожогом небольшого участка листа 2х-3х-недельного проростка гороха открытым пламенем. Электрофизиологические измерения проводили с помощью стандартной двухканальной системы, включающей Ag-Cl-макроэлектроды и высокоомный милливольтметр ИПЛ-113. Локальный прогрев листа осуществляли с помощью измерительной головки Cuvette 3010-Dual, а общий прогрев проростков с помощью воздушного термостата ТВ-20-ПЗ-«К».

В работе показано, что локальный нагрев листа (53°С, 30 мин) приводил к существенному снижению квантовых выходов фотосистем I и II. Распространение вызванных ожогом ЭС приводило к изменению фотосинтетического ответа на локальный нагрев. В этих условиях при нагреве наблюдалось более быстрое снижение квантовых выходов фотосистем I и II, в то же время квантовый выход фотосистемы I по окончании прогрева оставался существенно выше, чем в отсутствие ЭС. Эффект наблюдался как через 15, так и через 45 мин после распространения сигнала.

В исследованиях на целом растении показано, что общий прогрев вызывал угнетение роста корня и побега. При прогреве до 51°С и 55°С (30 мин) достоверных отличий в длине стеблей и корней гороха при наличии и отсутствие ожога, не наблюдалось, однако при прогреве до 53°С выявлено достоверное повышение устойчивости при действии ожога.

Полученные результаты показывают, что ЭС модифицируют ответ фотосинтеза на прогрев, по видимому способствуя усилению циклического потока в электрон-транспортной цепи хлоропластов по сравнению с нециклическим. Так как циклический поток является

более устойчивым к действию стрессоров, полученный эффект может быть интерпретирован как часть адаптивного ответа. Такое предположение подтверждается данными, полученными при прогреве целых проростков гороха.

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых (МК-1869.2012.4).

## **ВЫЗВАННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СИГНАЛАМИ ОТВЕТЫ ФОТОСИНТЕЗА У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ**

**Сухов В.С.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*

*E-mail: vssuh@mail.ru*

Растительные организмы существуют в изменчивых условиях окружающей среды, что требует наличия быстрых сигналов, обеспечивающих целостный ответ растения на локальные внешние воздействия. Важную роль в этом играют электрические сигналы (ЭС), которые способны возникать при неповреждающих и повреждающих воздействиях, распространяться по растению и вызывать широкий спектр функциональных ответов, включая экспрессию ряда генов, синтез фитогормонов, активацию дыхания и др. В частности, в литературе представлено достаточно большое число работ, показывающих способность ЭС влиять на фотосинтез, однако их данные являются достаточно противоречивыми. Кроме того, относительно слабо изучены механизмы развития фотосинтетических ответов и их роль для растения в целом.

Наши исследования, проведенные на проростках тыквы, пшеницы и гороха, а также на растениях герани показали, что ЭС влияют на фотосинтетические процессы у всех исследованных объектов, вызывая снижение газообмена, рост нефотохимического тушения флуоресценции и, в большинстве случаев, уменьшение квантовых выходов фотосистем I и II. Однако, выраженность и динамика ответов могут существенно различаться в зависимости от вида растения. Также показано, что при слабом освещении или у молодых растений может наблюдаться не уменьшение, а возрастание квантового выхода фотосистемы II, что, возможно, объясняет данные ряда работ о способности ЭС активировать фотосинтез.

Анализ механизмов развития вызванных ЭС ответов фотосинтеза, позволил предположить одновременное существование различных путей формирования таких ответов. В частности, представляется весьма вероятным участие в этом процессе снижения интенсивности темновой стадии фотосинтеза, роста нефотохимических потерь в фотосистеме II и уменьшения потока электронов через ферредоксин-НАДФ-редуктазу. Анализ путей трансформации ЭС в функциональный ответ показал, что весьма вероятным механизмом такой трансформации является вход протонов в растительную клетку, хотя нельзя исключать существования и других путей развития фотосинтетических изменений.

Кроме того, были исследованы изменения фотосинтетических параметров при непосредственном прогреве листа после индукции ЭС и без нее. Показано, что ЭС могут существенно менять динамику угнетения световой стадии фотосинтеза при прогреве и, по-видимому, повышать устойчивость ФСII к длительному воздействию высокой температуры.

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых (МК-1869.2012.4).



**АНАЛИЗ УЧАСТИЯ ПРОТОНОВ В ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА  
В ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ ОТВЕТ У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ****Шерстнева О.Н., Сурова Л.М., Орлова О.В., Сухов В.С.***Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,**Нижний Новгород, Россия**E-mail: sherstneva-oksana@yandex.ru*

В результате генерации и распространения электрических сигналов (ЭС) у растений развиваются функциональные ответы, которые, по-видимому, приводят к повышению устойчивости растения к действию стрессоров. В то же время, остаётся неизвестным механизм преобразования ЭС в функциональный ответ, в частности — в ответ фотосинтеза. В качестве одной из гипотез рассматривается участие в этом процессе протонной сигнальной системы, которая, однако, остаётся слабо подтверждённой экспериментально.

Эксперименты проводились на двух-трёхнедельных проростках тыквы и гороха. ЭС индуцировались ожогом открытым пламенем и регистрировалось с использованием стандартной установки для экстраклеточного отведения. Суспензию изолированных хлоропластов получали по стандартной методике. Параметры фотосинтеза исследовали с помощью газоанализатора и РАМ-флуориметра.

Показано, что ожог листа в большинстве случаев вызывает распространяющиеся ЭС по типу переменного потенциала (ВП). При прохождении ВП в исследуемый лист наблюдалось быстрое снижение ассимиляции  $\text{CO}_2$  и рост нефотохимического тушения у обоих растений. У гороха также наблюдалось снижение квантовых выходов фотосистем I и II. Для анализа участия протонов в формировании фотосинтетического ответа использовалась модельная система — суспензия изолированных хлоропластов. Быстрое закисление среды выделения вызывало резкий рост нефотохимического тушения. У гороха также наблюдалось снижение квантовых выходов фотосистемы I и II, что хорошо согласуется с данными, полученными на интактных проростках гороха, и подтверждают роль протонов в формировании фотосинтетического ответа. У тыквы наблюдалось лишь кратковременное обратимое повышение квантового выхода ФСII, что согласуется с отсутствием его выраженного снижения.

Таким образом, представленные результаты являются аргументом в пользу участия входа протонов в процессе трансформации ЭС в фотосинтетический ответ. Можно предположить, что это происходит при входе протонов в строму и через неё в люмен. Увеличение концентрации протонов в строме может, по-видимому, индуцировать кратковременную активацию транспорта электронов в цепи и ингибировать ферменты цикла Кальвина, а снижение pH люмена усиливает нефотохимическое тушение. Итоговым результатом описанных процессов является обратимая инактивация фотосинтеза.

Работа поддержана грантом Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых (МК-1869.2012.4).



**СЕКЦИЯ 2**

**РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ  
И ИХ РЕГУЛЯЦИЯ**

**PHYSIOLOGY OF FORMATION OF A CROP OF TUBERS OF AN EARLY POTATO****Andrianov A.D., Andrianov D.A.***Bashkir state agrarian university, Ufa, Russian Federation**E-mail: a.d.andrianov@mail.ru*

The process of management of potato tuber formation can be divided into several stages. To solve the problem of management of early grown potato productivity the crop biology should be studied carefully. These regularities are conditioned by interaction of soil and plant as biological organisms. The early grown potato productivity means the capacity of potato plant to give maximum output of dry matter from a unit of area, used by the concrete summer harvesting time. Dry matters of potato are starch, protein, fats, vitamins, mineral salts.

Multifactor field experiments on management of potato tuber formation were carried in 2009–2012 in the ESC of the Bashkir State Agrarian University. Our researches revealed that value of early grown potato root system used in soil value changes and depends on variety peculiarities and on the moisture rate of the soil layer taken into consideration during irrigation. The second stage of potato productive processes management requires involving both physiological and biochemical, agro-climatic, economic and managing indices. The influence degree of each factor affecting the production process is not constant. Normally potato plant reactions depend on the number of internal and external growth conditions. In getting high early potato yields, special attention is paid not only to the role of varieties but also to the speed of assimilation apparatus, to the size of the active leaf surface, to the lifetime of healthy leaves. The programming of early potato tuber production consists of a number of steps: agro-technical, organizational, economic etc. These steps made timely and in proper way will result in high crop capacity from both economic and energetic point of view. The optimum is leaf area 60–70 thousand m<sup>2</sup>/ha. The plantings are considered to be good if PhSP is not less than 2 mln m<sup>2</sup> •day/ hectare, taking into account 100 days of actual vegetation. The best results in dry biomass accumulation were achieved during the years of favorable meteorological conditions of vegetative periods. So in 1990 the level of dry biomass hesitated from 10.7 to 22.7 t/ha. During arid periods dry matter biomass didn't exceed 8.8...16.6 t/ha. Having studied the patterns of the second period planting the best rate of starch accumulation was with the stand thickness of 60–70 thousand tubers per hectare. The maximum amount of starch was with the stand thickness of 50 thousand tubers per hectare.

**PROLONGED EFFECT OF SALICYLIC ACID INCREASES TOLERANCE  
OF THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF WHEAT AND MAIZE PLANTS  
TO CADMIUM STRESS**

**Boiko I.V., Kobyletska M.S., Terek O.I.**

*Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine*

*E-mail: iryna.boiko@yahoo.com*

Salicylic acid (SA) is an endogenous phenolic compound with properties of signalling molecule and phytohormone, which is actively studied as exogenous protective substance to various stressors. It was shown that SA is able to mitigate growth inhibition and moderate activity of antioxidants, but those metabolic changes, which result in growth intensification, are not clarified enough.

As the stress factor, influence of cadmium ions was chosen for our investigation. Heavy metal (HM) pressure on environment becomes strongly pronounced in XX century as result of the rapid growth of industry and continues to grow. Accumulation of HM ions by plants leads to chain of physiological and structural changes, which may cause serious damage to plants on offended territories.

We investigated the effect of 0.5 mM SA on metabolism of wheat and maize plants, grown on Cd-polluted substrate (25 mg/kg). Preincubation of seeds with SA caused 3.7-fold decrease of Cd content in roots of 28-day-old wheat plants, and increase of it in maize roots in 18%. Such difference is determined by hyperaccumulation abilities of maize, and SA is known to intensify it. SA influence resulted in higher absorption of mineral elements (Zn, Cu, Fe, Mn) in roots and transporting them to shoots of Cd-stressed plants. It is known, that SA can initiate “oxidative burst” after application, but prolonged effect of SA showed decrease in lipoperoxidation activity and enhancement of protein and free aminoacids content under stressful conditions.

Exogenous SA provides protection of photosynthetic pigments against damage in Cd presence, especially increase by 28% in maize and 14% in wheat plants and stabilization of pigment-protein complexes. SA levels Cd impact on carboanhydrase activity in both plant species.

Changes in carbohydrate content and growth parameters were observed under experimental conditions: both soluble sugars and polysaccharides were accumulated in plant tissues, and plant height and weight increased in SA-pretreated Cd-stressed plants.

Application of SA to Cd-stressed plants decreased total phenols content both in shoots and roots wheat plants. Researchers showed an inverse relationship between phenol level and photosynthetic productivity of plants, phenolic compounds are known as growth inhibitors. Though, one of them, SA is suitable for protection against Cd stress, inducing a train of adaptive changes of photosynthetic apparatus of the investigated plants.

**SEASONAL DYNAMIC OF PHYTOHORMONES CONTENT IN BLACK SEA  
ALGA *CYSTOSEIRA BARBATA*  
(GOOD ET WOOD)**

**Musatenko L.I., Voytenko L.V.**

*M.G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy  
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.*

*E-mail: Lesya\_voytenko@ukr.net*

Chemical fertilizers, synthetic plant growth regulators and pesticides substitution for natural analogs is an urgent task of agriculture. Great algae diversity, especially macrophytes, arouses an interest to them study as a perspective producers of biologically active substances for creation of an environmentally safe plant growth regulators. The most productive dominant species of Black Sea phytocenosis is brown macroalga *Cystoseira barbata* (Good et Wood). The greatest accumulation of its biomass is found out in autumn and spring period of vegetation when an intensive reproductive organs formation is observed. To the most effective use of natural *C. barbata* population and its casting ashore for creation of preparations with high physiological activity it is necessary to establish optimal periods of this algae growth and phytohormones accumulation.

We studied seasonal dynamics of phytohormones content in whole tallus of *C. barbata* from natural populations in Sevastopol bays. IAA and ABA were extracted by ethanol and there purified by diethyl ether, acid-alkaline reextraction and thin layer chromatography. Cytokinins (zeatin, zeatin riboside, isopentenyladenin, isopentenyladenosine and zeatin glucoside) were extracted by ethanol and then purified by butanol fractioning, ion-exchanging (Dowex 50W×8) and thin layer chromatographies. Quantities of these phytohormones were detected by HPLC (Agilent 1200 LC, USA) using Eclipse XDB-C 18 column (2,1×150 mm), particles size 5 μm. Elution was carried out with solvents system methanol:water (37:63). Data were analyzed and processed by software Chem Station, version B.03.01 on line. Gibberellin-like substances activity was measured by bioassays on salad seedlings.

Quantities of gibberellin-like substances and IAA in extracts were not essential during algae vegetation within a year. The highest ABA level was shown in *C. barbata* plants in summer. It decreased in autumn (before growth delay) and in winter. Maximum in cytokinins content was observed in period of reproductive organs formation in winter (about 300 ng/g f.w.) whereas in period of algae intensive growth it was twice lower. It is known that physiological activity of industrial preparation form macroalgae is connected with presence of high cytokinins quantities. Considering this and basing on our results we suppose that it is winter algae harvest that is the most reasonable concerning cytokinins content in algae tallus.

## EFFECT OF THE ROOT NUTRITION CONDITIONS OVER THE ABOVEGROUND BIOMASS GROWTH OF AGASTACHE FOENICULUM PURSH

Paly I.N

*Nikitsky Botanical Gardens, Yalta, Ukraine*

*E-mail: runastep@ukr.net*

The cultivar of *Agastache foeniculum* Pursh. — Pamiati Kapeleva selected in NBS-NSC has been studied.

In the studies 3 variants of fertilizers and control were used:

1. mineral ( $N_{60}P_{60}$ ) + organic fertilizers (manure 40 t/ha);
2. organic fertilizers (manure 40 t/ha);
3. mineral fertilizers ( $N_{60}P_{60}$ );
4. control.

Due to the presence of numerous lateral shoots first and second order, plants of the first year have the form of a spreading bush growth which is affected by nutrition conditions: № 1 — 110.5 cm, № 2 — 99.5 cm, № 3 — 98 cm, № 4 — 92.4 cm, the diameter: № 1 — 98.5 cm, № 2 — 89.3 cm, № 3 — 88.5 cm, № 4 — 82.3 cm. Quantity of first and second order shoots consistently decreases from the variant № 1 to the variant № 4. Maximum growth of plants has been observed during the period of mass of budding and the beginning of flowering.

Second year vegetation plants form the bush from the central shoots with the average number in the options: № 1 — 14 pcs, № 2 — 13 pcs, № 3 — 13 pcs, № 4 to 12 pcs. The average number of the first order shoots: № 1 — 157.5 pcs, № 2 — 149.5 pcs, № 3 — 148.6 pcs, № 4 — 145.5 pcs with the length: № 1 — 61.5 cm, № 2 — 51 cm, № 3 — 50.8 cm, № 4 — 45.5 cm. The average number of the second order shoots was: № 1 — 394 pcs, № 2 — 380 pcs, № 3 — 379.1 pcs, № 4 — 374.1 pcs, with the length: № 1 — 7 cm, № 2 — 4.5 cm, № 3 — 4.5 cm, № 4 — 4 cm, correspondently.

Under the influence of the different variations of root nutrition quantity of inflorescences per plant changes in different years depending of nutrition conditions. If in the first year of vegetation their average number was: № 1 — 34.5 pcs, № 2 — 31.5 pcs, № 3 — 30.3 pcs, № 4 — 28.5 pcs, in the second year vegetation period in connection with a sharp growth of aboveground biomass it has been observed a sharp jump in the number of inflorescences per plant: № 1 — 255 pcs, № 2 — 235 pcs, № 3 — 234 pcs, № 4 — 225 pcs. In the third year the increase was slight: № 1 — 260.5 pcs, № 2 — 240 pcs, № 3 — 235.5 pcs, № 4 — 225.5 pcs.

The largest size of the leaves has been observed on the shoots, which are located in their bottom and middle parts. The effect of nutrition conditions over the morphometric characteristics of the leaf blade were the following: № 1 — 11.5 cm, № 2 — 8.5 cm, № 3 — 8.2 cm, № 4 — 8 cm, with the width: № 1 — 7.15 cm, № 2 — 5.15 cm, № 3 to 5 cm, № 4 — 4.95 cm

It has been found out that the root nutrition variants effect over the aboveground biomass growth of *A. foeniculum* during three years of vegetation.

## REGULATION OF PHENOLICS PRODUCTION IN BUCKWHEAT PLANTS GROWN UNDER DIFFERENT STRESS CONDITIONS

Sytar O.<sup>1,2</sup>, Kosyan A., Brestic M.<sup>2</sup>, Taran N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Department of Plant Physiology and Ecology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Biology, Volodymyrska str. 64, 01601, Kyiv, Ukraine*  
E-mail: o\_sytar@ukr.net

<sup>2</sup>*Department of Plant Physiology, Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr.Andrea Hlinku 28, 949 76, Nitra, Slovakia*

Buckwheat as a traditional pseudocereal crop (*Polygonaces*) is widely used as food and medicinal plant. Particularly buckwheat has gained its fame due to the broad spectrum of flavonoids and phenolics characterized by health benefits. In this study, *Fagopyrum esculentum* (common buckwheat) sprayed with nickel (Ni) in average concentrations (0, 0,5, 1 mM) for different duration and buckwheat plants under various nitrogen supply has been investigated for Ni accumulation, total phenolics and rutin production, phenolic acids compositions. The total phenolic contents increased at 24 h of all variants Ni treatments. The analyzed phenolic acids have potential role as antioxidants, which provide increasing of content in buckwheat under foliar Ni treatment in average concentrations. HPLC data revealed that phenolic acids are in good correlation with concentration and durations of treatments. After 24 and 48 h the contents of chlorogenic, *p*-hydroxybenzoic, hesperetic, *p*-anisic, and caffeic acids increased in Ni treated leaves which showed possible way to increase phenolics production under small Ni doses. On the other hand rutin and phenolics production in buckwheat leaves has been decreased under nitrogen supply (N<sub>20</sub>, N<sub>40</sub>) compared to their contents in the inflorescence. The ways of regulation of phenolics production, as potential antioxidants, under different stress factors has been discussed.

## CHANGES IN CYTOKININES CONTENT IN *EQUISETUM ARVENSE* L. ORGANS DURING THEIR GROWTH

Vedenicheva N.P., Musatenko L.I.

*M.G. Kholodny Institute of Botany of the NASU, Kyiv, Ukraine*  
E-mail: vedenicheva@ukr.net

Phytohormones studies in cryptogamous plants are necessary for more deep understanding of origin and evolution of plant hormonal regulation system. Phytohormones are detected in all living organisms from prokaryotic to higher plants and animals. Nevertheless, the mechanisms of phytohormonal system functioning, the role of phytohormones in plants growth regulation and development were studied mainly in flowering, especially cultural, plants. Information about phytohormones in cryptogamous plants is presented by some reports devoted the identification of auxins, gibberellins, cytokinins and ABA in their tissues and about exogenous effects of these

substances on growth *in vitro*. The attempts to observe the origin and evolution of the plant hormonal system components were made in reviews (Hartung, 2010; Ross, Reid, 2010). But essential lack of factual materials don't allow to do reliable conclusions and even well-grounded assumptions about formation and perfection of phytohormonal mechanisms of regulation in the process of living world development.

We paid attention to vascular cryptogamous plants because unlike fungi and algae their phytohormonal system is investigated weakly and connection with growth and development is unknown. The purpose of this study was to clarify the changes of endogenous cytokinins content in organs of *Equisetum arvense* L. at different developmental stages. There were determined zeatin (Z), zeatinriboside (ZR), isopentenyladenine (IP), isopentenyladenosine (IPA) and zeatin-O-glucoside (ZG) in all parts of *E. arvense*. Low content of cytokinins was detected in rhizomes and leaf-like branches of young plants. Relatively high level of Z and IPA was present in their vegetative stems. Cytokinins levels decreased in adult plants excepting rhizome, where high levels of IPA and IP were detected. Some correlations between endogenous cytokinins content and growth processes intensity of *E. arvense* organs growth were observed. Taking into account the difference in cytokinins concentrations in overground and underground sporophyte parts it can be supposed that cytokinins play a signaling role in *E. arvense* just as they do in higher plants (Romanov, 2009). Thus, the results obtained support the assumption that cytokinins and possible others phytohormones regulate the growth processes in the vascular cryptogamous plant *E. arvense*. The further studies should be aimed to the elucidation of physiological functions of phytohormones in cryptogamous plants.

## **ROLE OF PHYTOHORMONES IN GROWTH AND DEVELOPMENT OF VASCULAR CRYPTOGAMS**

**Voytenko L.V., Musatenko L.I.**

*N.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine*  
*E-mail: Lesya\_voytenko@ukr.net*

The role of phytohormones in regulation of the higher plant vital functions is well known. Although the similar studies on vascular cryptogams have also been carried out their volume is limited and the obtained results have not answered the question concerning the regulatory mechanism of their growth and development. As objects of study there were used internodes of the main vegetative shoots of the field horsetail sporophyte picked up in various periods of its development. The qualitative analysis and phytohormone quantity measuring were done using highly effective liquid chromatograph.

There was found a direct dependence between the growth intensity of internodes (the lower from the rhizome, middle and upper ones) of the field horsetail vegetative shoot during its development and their phytohormone content. The levels of IAA (free) and ABA (free and bound) were shown to decrease from the upper young internodes to the lower mature ones in 20, 30 and

40 cm long vegetative shoots while the content of bound IAA was at the level of trace quantities. It is interesting that the content of phytohormones in internodes of 40 and 50 cm long plants was considerably higher than in ontogenetically younger plants and that was, most probably, related with the formation and intensive development of secondary branches in internodes of primary branches. It should be noted that the upper internodes of 40cm long plants were characterized by a high content of ABA with the domination of the free form over the bound one (almost twenty-fold). The levels of free IAA, both in the upper and lower internodes, were equally high. A reduction in the growth intensity of 50 cm long plant internodes was accompanied with some increase in the accumulation of bound forms of IAA and ABA from the upper to the middle and lower metameres. Thus the differences found in the hormonal status of internodes of the lower, middle and upper parts of the main shoot of the vegetative field horsetail plants at the various stages of its development made it possible to conclude that their growth and morphogenesis processes are controlled by the phytohormonal system like in the higher plants.

## ГЛУБОКИЙ ПОКОЙ И ПРОРАСТАНИЕ РЕКАЛЬЦИТРАНТНЫХ СЕМЯН: РОЛЬ АБК

**Азаркович М.И.<sup>1</sup>, Гумилевская Н.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева  
Российской академии наук, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт биохимии им. А.Н. Баха Российской академии наук, Москва, Россия  
E-mail: m-azarkovich@ippras.ru*

Семена каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) обладают двумя физиологическими особенностями. Они неустойчивы к высушиванию, т.е. относятся к рекальцитрантному типу семян, и находятся в глубоком покое, для преодоления которого нуждаются в длительной холодной обработке (стратификации). Известно, что абсцизовая кислота (АБК)— центральный фактор в установлении и поддержании покоя. Механизмы индукции, поддержания и преодоления глубокого покоя у рекальцитрантных семян изучены мало и пока остаются неясными.

По нашим данным, зародышевые оси в покоящихся семенах каштана не имеют собственного покоя и обладают ростовой активностью независимо от срока стратификации. В работе исследовано действие экзогенной АБК (10–5М) на рост, уровень белкового синтеза и спектр синтезируемых полипептидов. Изолированные по ходу стратификации оси выращивали *in vitro* на воде при 28°С в темноте в течение 3 суток.

Установлено, что рост осей, выделенных из стратифицированных, но не проклюнувшихся семян, полностью подавлялся экзогенной АБК. В отличие от семян арабидопсиса, в осях каштана глюкоза не снимает ингибирующего действия АБК. Оси, изолированные после проклеивания, не чувствительны к действию АБК. Оси, достигшие при выращивании *in vitro* размеров осей из проклюнувшихся семян, теряют чувствительность к АБК. Ингибирование роста изолированных осей в присутствии АБК не сопровождалось снижением



уровня белкового синтеза, как это происходит при действии циклогексимида, который подавляет и рост, и синтез белка. Из этого следует, что влияние АБК на рост изолированных осей не вызвано подавлением общей трансляционной активности в клетках, а может быть связано как с ингибированием синтеза минорной группы полипептидов, необходимых для роста, так и с активацией синтеза белков, оказывающих ингибирующее действие на рост. Исследование полипептидного состава белков показало, что АБК препятствует катаболизму термостабильных полипептидов (в том числе и дегидринов), который имеет место при прорастании нативных семян.

Потеря чувствительности к экзогенной АБК к моменту проклевывания свидетельствует о резком изменении физиологического состояния зародышевых осей. Механизмы этого явления пока неизвестны.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и Программы «Молекулярная и клеточная биология» Президиума РАН.

## **БИОМАССА — ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ВИНОГРАДА К СТРЕССАМ**

**Алиева Земфира М.**

*Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия*

*E-mail: zemfirik@mail.ru*

Изучены возможности диагностики устойчивости сортов винограда Пино гри (I) и Агадаи (II) к стрессам по биомассе одревесневших стеблевых черенков при культивировании в растворах NaCl (А)  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ М и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Б)  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ М при комнатной температуре и освещении.

Распускание почек у I отмечено на 19 сут. в  $10^{-3}$ М (А), на 22 сут. — в контроле и остальных вариантах. У II рост почек отмечен на 23 сут. Начало корнеобразования у I — на 28 сут. в вариантах  $10^{-2}$ М (А) и  $10^{-3}$ М (Б), на 31 сут. — в  $10^{-3}$ М (А) и  $10^{-2}$ М (Б). У II корнеобразование началось в А и Б на 30 сут. при  $10^{-2}$ М, а в  $10^{-3}$ М (Б) — на 31 сут. В  $10^{-1}$ М А и Б ростовые процессы у черенков I и II не наблюдались, на 30 сут. они отмерли.

Накопление биомассы побегов у I А при  $10^{-2}$ М и  $10^{-3}$ М по сравнению с контролем составило 55,7% и 82,1%, у I Б — 60,2% и 46,4% соответственно. Эти показатели у II для А составили 98,8% и 91,2%, а для Б — 84,8% и 83,3%.

Биомасса корней по вариантам для А оказалась значительно ниже контроля, для Б — выше. Чувствительность формирования корней и роста побегов к засолению среды у сортов отличаются. Поэтому меняется и соотношение сухого веса побегов/корней («коэффициент полярности»). Оно у I возрастало при засолении, тогда как у II имело тенденции к снижению.

Таким образом, I менее устойчив к засолению А и Б, тогда как у II наблюдается преобладание биомассы корней над побегами, что свидетельствует о большей его устойчивости.

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ И РАЗВИТИЕ РАННЕГО КАРТОФЕЛЯ**

**Андрианов А.Д., Андрианов Д.А.**

*Башикирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия*

*E-mail: a.d.andrianov@mail.ru*

В растениях микроэлементы вовлекаются в процессе обмена веществ в ионной форме. Этому требованию отвечают комплексоны металлов (КМ) на основе лиганда ДТПА. Они легко усваиваются растениями через клеточные мембраны. Сущность действия КМ состоит в активизации деятельности ферментов, воздействии на биохимические процессы, протекающие в клетках, стимуляции роста и развития растительного организма. При недостаточном поступлении в организм растения биометаллов из-за их антагонизма с другими ионами ранний картофель отличается низким и неполноценным по качеству урожаем.

Опыты проводили в 1990–2000 годах в УНЦ БГАУ с сортом интенсивного типа Невский. Содержание микроэлементов в почве различное: цинка (0,12–0,14 мг/кг), бора (0,6 мг/кг), и молибдена (0,27–0,32 мг/кг)—низкое, а марганца (8,0 мг/кг), железа (6,0–6,5 мг/кг) и меди (4,0–4,5 мг/кг)—среднее. Применение КМ способствовало увеличению площади листовой поверхности и удлинению срока её полезной работы. КМ усиливали биосинтез хлорофилла в растениях картофеля, оказывая тем самым положительное влияние на интенсивность фотосинтеза. В среднем за 11 лет исследований намачивание клубней и опрыскивание ботвы вызвало повышение индекса листовой поверхности в период «цветение + 10 дней» на 4,5–10,2% по сравнению с контролем. При общем существенном росте массы ботвы возросла доля в ней листьев, оводнёность которых увеличилась на 1,5%. Особенно благоприятное воздействие на величину ассимиляционной поверхности КМ оказывали во влажные годы, когда наблюдалось достоверное ветвление стеблей с образованием большего числа листьев. Увеличились темпы накопления сырой массы и сухого вещества растений в вариантах с обработкой КМ. Биоэнергетически наиболее выгодным является предпосадочное намачивание клубней. Применение КМ существенно повышало урожайность клубней во все годы исследований. По сравнению с контролем содержание сухого вещества, крахмала и аскорбиновой кислоты в клубнях повышалось во все годы исследования. Наибольшее воздействие оказывают Cu ДТПА и Fe ДТПА как при намачивании посадочных клубней за 1 сутки до посадки с экспозицией 30 минут водным раствором в концентрации 0,001% так и при опрыскивании ботвы в фазе бутонизация вводным раствором в концентрации 0,2%. КМ обеспечили значительное снижение содержания нитратов в клубнях. Как аналог КМ представляет интерес купробисан (тетраметилендиаминсульфат меди пентагидрата). Таким образом, КМ повышали устойчивость растений к стрессам различной природы.

## **ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА РАННЕГО КАРТОФЕЛЯ**

**Андрианов Д.А., Андрианов А.Д.**

*Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия*

*E-mail: a.d.andrianov@mail.ru*

Признак продуктивности сорта является очень сложным комплексом. Он состоит из целой серии групп простых признаков. Под продуктивностью раннего картофеля понимают возможность картофельного растения и их группы создавать максимальный выход сухого вещества с единицы занимаемой площади к конкретному сроку летней уборки. Формирование органов генеративного и вегетативного размножения картофеля идёт одновременно и необходимо друг для друга. Цветение и клубнеобразование не конкурируют за использование образующиеся при фотосинтезе пластические вещества. Ограничивающими факторами для реализации потенциальной урожайности являются показатели количество прихода ФАР и биологические и возможности сортов культуры. Предел суточной эффективности истинного фотосинтеза 20%, а дыхания 8% от поглощённой ФАР.

В УНЦ БГАУ в 1967–2012 годах проводили исследования по изучению селекционного материала картофеля различного генотипа. Накопление урожая в июле-начале августа идёт за счёт увеличения числа и массы товарных клубней. В процессе образования урожая клубней можно выделить два периода. Формирование ботвы, рост столонов и завязывание на них клубней составляет первый из них. Второй период составляет увеличение массы имеющихся клубней за счёт функционирования надземной массы и корневой системы. У всех изученных сортов проявляется сильная обратная зависимость между числом клубней и их средней массой. Одновременно для них характерна годичная цикличность между описанными компонентами продуктивности раннего картофеля. Если в один год больше число клубней на 1 куст, то на следующий год всегда больше средняя масса клубня. Сорт Прикульский ранний слабо реагировал на температурный режим в период клубнеобразования. Сорта Искра и Невский были более требовательны к температуре воздуха в этот период. По урожайности у сорта Искра в первую декаду июля имеется умеренная положительная связь с суммой эффективных температур. К концу июля она становится умеренно отрицательной. У этого сорта связь между количеством клубней и суммой эффективных температур в первую декаду июля умеренная положительная, а далее слабая положительная. Чем больше масса посадочного клубня, тем при меньшей густоте посадки создаётся необходимая плотность стеблестоя, обеспечивая образование более развитого листового аппарата и более высокую ЧПФ. Урожайность раннего картофеля 30–50 т/га достигается к концу июля—начале августа, если средняя масса клубней 60–80 г со средним их числом в клубневом гнезде от 8 до 17 в условиях РБ.

**ДИНАМИКА И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИУК И АБК И ФОРМИРОВАНИЕ БОКОВЫХ КОРНЕЙ  
У РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ СНИЖЕНИИ ВОДНОГО ПОТЕНЦИАЛА  
ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА**

**Ахиярова Г.Р., Кудоярова Г.Р., Иванов И.И.**

*ФГБУН Институт Биологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия*

*E-mail: Akhiyarova@rambler.ru*

Усиление ветвления корней—один из механизмов повышения их поглотительной способности. Эффективность функционирования корневой системы особенно важна при снижении доступности воды в окружающей среде. Тем не менее, влияние снижения доступности воды на ветвление корней остается слабо изученной, а имеющиеся данные противоречивы. Мы использовали способ выращивания растений с разделением корневой системы между отсеками с разной концентрацией макроэлементов (-0,005 и -0,42 Мпа) для изучения влияния снижения водного потенциала питательной среды на формирование боковых корней. Поскольку хорошо известна способность ауксинов влиять на ветвление корней, была изучена динамика содержания этого гормона в корнях, а с помощью иммуногистохимического подхода—его локализация в клетках корней. Параллельно была проведена аналогичная оценка уровня и распределения между клетками абсцизовой кислоты (АБК), поскольку предполагается, что этот гормон может выступать как антагонист ауксинов в регуляции формирования и роста боковых корней. Показано, что боковых корней было больше на корнях, размещенных в растворе с более низким водным потенциалом. Содержание ауксинов было также выше на фоне большего дефицита воды, а максимум этих гормонов предшествовал появлению примордиев боковых корней. Содержание АБК было также выше в корнях, контактирующих с более концентрированным раствором. Однако максимум содержания гормона в корнях запаздывал по сравнению с ауксинами и различия между высоко- и низкосолевыми корнями были менее выражены в случае АБК по сравнению с ауксинами. Иммуногистохимическое выявление ауксинов и АБК с помощью соответствующих специфических антител показало интенсивное окрашивание на ауксины сформированных примордиев и снижение окраски при их удлинении, в то время как интенсивность окрашивания на АБК усиливалась по мере удлинения боковых корней. Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о стимулирующем влиянии слабого дефицита воды на формирование боковых корней, зависимости этого процесса от ауксинов, и о том, что повышенный уровень АБК не ингибирует образования боковых корней при условии более быстрого и выраженного накопления ауксинов.

При поддержке грантов РФФИ 12-04-01111 и Президента РФ МД-3291.2012.4.

## ОРТОДОКСАЛЬНЫЕ И РЕКАЛЬЦИТРАНТНЫЕ СЕМЕНА: СРАВНЕНИЕ КЛЕТОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

**Болякина Ю.П., Азаркович М.И.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева  
Российской академии наук, Москва, Россия  
E-mail: juljabol@mail.ru*

Работа посвящена сравнению клеточной структуры зрелых рекальцитрантных семян каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) со зрелыми ортодоксальными высокомасличными семенами подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) и клещевины (*Ricinus communis* L.). В отличие от ортодоксальных семян подсолнечника и клещевины семена каштана не переносят высыхания. Такие семена относятся к рекальцитрантному типу, при созревании они сохраняют высокую оводненность. Для ортодоксальных (устойчивых к высыханию) семян известно, что запасные белки откладываются в клетках запасующей паренхимы в форме специальных образований — алейроновых зерен (АЗ), или белковых тел. АЗ образуются путем постепенного заполнения вакуолей запасными продуктами. Причем запасные белки в вакуолях всегда откладываются вместе с фитином. Масличные семена имеют сложные АЗ, в которых видны включения — фитиновый глобоид и белковый кристаллоид.

С помощью световой микроскопии была проведена гистохимическая оценка локализации белка (окрашивание бромфеноловым синим — БФС) и фитина (окрашивание толуидиновым синим — ТС) в клетках запасующих тканей зрелых семян. В клетках ортодоксальных семян (подсолнечник, клещевина) наблюдались сформированные АЗ: белковая часть окрашивалась БФС, а фитин — ТС. Что касается рекальцитрантных семян каштана конского, то при использовании световой микроскопии нам не удалось выявить заметных белковых включений в вакуолях. Однако на ультраструктурном уровне в вакуолях клеток семядолей семян каштана видны электронно-плотные образования ячеистой структуры, похожие на фитин глобоида. Вакуоли обычно небольшие, либо электронно-прозрачные, либо с рыхлым хлопьевидным содержимым.

Полученные данные хорошо согласуются с результатами физиолого-биохимического исследования семян каштана. Анализ белкового комплекса этих семян показал локализацию белка в клетках зародыша преимущественно в цитозоле, в то время как на долю фракции клеточных структур приходилась незначительная часть суммарного белка клетки. Среди белков этой фракции отсутствовали мажорные компоненты, которые могли бы претендовать на роль запасных белков. Основную массу белка в осевых органах и семядолях составляют цитоплазматические водорастворимые белки — альбумины. Отмеченные особенности ультраструктуры и белкового состава могут быть связаны с рекальцитрантным характером семян каштана конского.

Работа выполнена при частичной поддержке Программы «Молекулярная и клеточная биология» Президиума РАН.

**УЛЬТРАСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗРЕЛЫХ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА****Болякина Ю.П.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук,  
Москва, Россия*

*E-mail: juljabol@mail.ru*

Подсолнечник (*Helianthus annuus* L.)— важная сельскохозяйственная культура, его возделывают для производства высококачественного масла. Известно, что в запасающих тканях зрелых семян подсолнечника, которые при созревании обезвоживаются (высыхают), наряду с липидами запасаются белки и фитин. Причем запасные белки всегда откладываются вместе с фитином в вакуолях, образуя алейроновые зерна (АЗ).

На ультраструктурном уровне прослежено отложение белка и фитина в вакуолях клеток запасающей паренхимы семядолей. Показано, что формирование глобоида, содержащего запасное фосфорное соединение фитин, и отложение белка в вакуолях клеток запасающей паренхимы происходит в разное время.

Началу отложения запасных веществ предшествует период развития клеток запасающей паренхимы. Ультраструктура делящихся клеток семядолей в это время (7–10 дней после цветения) отражает активный метаболизм. Обычно в таких клетках крупные ядра с большими ядрышками занимают центральное положение. В делящихся клетках в семенах подсолнечника изредка встречаются мелкие вакуоли. К 10–14-му дню после цветения клетки уже сильно вакуолизированы, и в вакуолях появляются первые запасные отложения. Началом формирования алейроновых зерен в вакуолях является образование глобоидов. Фитин синтезируется в ретикулярных каналах, в которых можно видеть его характерные сферокристаллы, и затем транспортируется в вакуоль. Глобоиды постепенно обрастают белком. В синтезе запасных белков существенную роль играет эндоплазматический ретикулум (ЭР), который к моменту завершения формирования вакуолей достигает максимального развития. Прослежена активизация аппарата Гольджи, пузырьки которого тоже участвуют в переносе белка от места его синтеза в вакуоль. Белок заполняет большую часть вакуоли, формируя алейроновое зерно. При исследовании динамики отложения запасных белков показано, что белок переносится к месту отложения специальными белокпереносящими пузырьками, которые видны около формирующихся белковых тел. Параллельно с формированием АЗ в цитозоле клеток запасающей паренхимы семядолей наблюдается отложение запасных липидов.

Запасные вещества в семенах представляют собой компактную форму хранения активных метаболитов, которые остаются инертными при созревании и используются при прорастании. Алейроновые зерна—клеточные структуры, отвечающие этим условиям наилучшим образом.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и Программы «Молекулярная и клеточная биология» Президиума РАН.

## ПОИСК МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ (ПРАЙМИРОВАНИЯ) СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Бубряк О.А.<sup>1</sup>, Акимкина Т.В.<sup>1</sup>, Дмитриев А.П.<sup>2</sup>, Бубряк И.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Оксфордский Университет, Оксфорд, Великобритания*

<sup>2</sup>*Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев,*

*E-mail: dmyt@voliacable.com*

Эффективность растениеводства в значительной мере определяется качеством посевного материала. Праймирование семян — предпосевная обработка водой или другими осмотиками при определенном осмотическом давлении в течение определенного времени приводит к активации важных биохимических процессов, когда зародыши семян должны оставаться еще в устойчивом к обезвоживанию состоянии. Поэтому семена могут быть вновь высушены для дальнейшего хранения. В настоящее время мало известно о молекулярных процессах, происходящих при разных режимах праймирования и о причинах, которые приводят иногда к ускоренному старению обработанных семян и потере их жизнеспособности при хранении.

Цель работы состояла в том, чтобы связать разные режимы праймирования со скоростью вхождения зародышевых клеток в первый клеточный цикл и найти показатель оптимального праймирования семян сахарной свеклы. Объект исследований — семена сахарной свеклы (гибриды «Мадисон» и «Дюк»).

Были подобраны 3 основных и 2 промежуточных режимов праймирования, изучено их влияние на всхожесть, скорость прорастания и количество аномальных семян. Оказалось, что при всех режимах праймирования гибрида «Мадисон» всхожесть и скорость прорастания семян возрастает при очень низком количестве аномального семян в выборке. Похоже, что для «Мадисон» обработка, анонсировалась в семенной промышленности как «перепраймирование», может быть оптимальной. Показано существенное различие в действии одинаковых режимов праймирования на семена сахарной свеклы. Обнаружено, что обработка, которая используется в семенной промышленности как «оптимальное праймирование», может быть неоптимально завышенной и опасной для качества семян. Установлено, что наличие более 15% клеток зародышей с 4С содержанием ДНК, может служить показателем того, что семена являются перепраймованными и вряд ли пригодными для длительного хранения.

Для проверки этого предположения обработанные семена были заложены на длительное хранение, анализ проводили через 6 и 18 месяцев. Показано, что праймирование инициирует репликацию ДНК в клетках корешков зародышей и они движутся по клеточному циклу с накоплением части их в G2 фазе. Это позволило связать различные режимы праймирования со скоростью накопления клеток с 4С содержанием ДНК. Установлено, что при оптимальных уровнях праймирования количество клеток в G2 фазе не должно превышать 15%.

Предложено использовать содержание клеток в G2 фазе клеточного цикла как молекулярный маркер степени праймирования семян сахарной свеклы.



**РАЗРАБОТКА ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРАЙМИРОВАНИЯ СЕМЯН****Бубряк О.А.<sup>1</sup>, Дмитриев А.П.<sup>2</sup>, Гродзинский Д.М.<sup>2</sup>, Бубряк И.И.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Оксфордский Университет, Оксфорд, Великобритания*<sup>2</sup>*Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев,**E-mail: dmyt@voliacable.com*

Качество семян зависит в первую очередь от его однородности по физиологического состояния зародышей. Даже семена высокого качества значительно варьируют по степени зрелости, что обуславливает асинхронность его прорастания. Для синхронизации семенного материала по темпам прорастания используют стимулирующие обработки (праймирование), которые приводят к активации биохимических процессов, дают возможность клеткам зародышей восстановиться от повреждений и завершить необходимые этапы подготовки семян к прорастанию.

Цель работы состояла в изучении клеточных и молекулярных процессов, которые протекают в зародышах семян важных сельскохозяйственных культур при праймировании. Проанализировано влияние различных режимов праймирования семян лука, сахарной и кормовой свеклы на состояние ДНК в зародышах семян. Показано, что стимулирующие обработки ведут к повышению содержания высокомолекулярной ДНК в клетках зародышей. На этапе высушивания обработанных семян в них происходит накопление деградированной низкомолекулярной ДНК, содержание которой пропорционально интенсивности праймирования. По соотношению содержания высоко- и низкомолекулярной ДНК в зародышах обработанных семян можно оценивать качество праймирования. Однако такой маркер качества праймирования можно использовать только по окончании процесса праймирования.

Изучена динамика внепланового синтеза ДНК. Доказано, что у всех образцов в первые 2 ч прорастания праймированных семян этот внеплановый синтез является репаративным. Следовательно уровень внепланового синтеза ДНК в первые часы прорастания семян отражает интенсивность репарации повреждений ДНК, накопленных в процессе праймирования.

Установлено, что эффективность репарации в обработанных семенах сахарной свеклы можно тестировать внесением дополнительных повреждений ДНК в зародыши семян с помощью гамма-облучения. Потенциальная способность репарационных систем к восстановлению от дополнительных повреждений ДНК может быть достаточно надежным маркером оптимальности праймирования семян сахарной свеклы. Оказалось, что содержание фермента ДНК лигазы в оптимально праймированном материале сахарной свеклы возрастает в 2,5 раза по сравнению с необработанными семенами и прямо коррелирует с интенсивностью репарационных процессов в семенах.



Таким образом, в качестве молекулярных маркеров оптимального уровня праймирования можно использовать соотношение высоко- и низкомолекулярной ДНК, а также интенсивность репарационных процессов в зародышах обработанных семян.

**ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО (*HERACLEUM  
SOSNOWSKYI MANDEN*) НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ  
КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ**

**Бударин С.Н.**

*Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,  
агрономический факультет, Москва, Россия  
E-mail: snegin20000@rambler.ru (Бударину С.Н.)*

Борщевик Сосновского, обладая высокой семенной продуктивностью, сильным иммунитетом, неприхотливостью к почвенно-климатическим условиям и завидным морфологическим особенностям стал превосходным лидером в завоевании новых территорий. Появление борщевика (кормовой культуры) в естественных фитоценозах стало неожиданностью для многих регионов страны. В настоящее время действуют региональные программы по борьбе с этим эргазиофитофитом. По расчетам некоторых специалистов борщевик без должной борьбы с ним через 40–50 лет покроет всю площадь Подмосковья кроме лесов, болот, ежегодно обрабатываемых сельхозугодий и площадей, занятых асфальтобетонными покрытиями. Многие научные источники по изучению аллелопатических свойств борщевика показывают его инвазивность, т.е. агрессивность и особенность нападать, вторгаться в с-х угодья и другие фитоценозы. Для нас было интересным увидеть в аллелопатических элементах борщевика положительные свойства по отношению к другим растениям.

Мы проращивали семена пшеницы озимой мягкой (*Triticum sativa*) сорта «Звезда» на разбавленном соке из корней борщевика Сосновского. Для этого 100 семян пшеницы поместили в разбавленный с водой сок борщевика, в следующих трёх соотношениях: 1/1, 1/4, 1/16 и для контроля поместили в воду (H<sub>2</sub>O) то же количество семян пшеницы, где в знаменателе вода. Проращивали в течении 5 суток при t=23° С. В результате получили неожиданные данные. По количеству проросших семян наивысшие отметки в слабой концентрации сока борщевика (1/16), n—69,5 шт, в контроле —62,5 шт, и наименьший результат в равном количестве воды и сока (1/1)—12,75 шт. В соотношении длины гипокотыля и корешков в разбавлении 1/1 и 1/4 гипокотиль превышает длину корешков и в среднем показывает не высокие результаты—0,07 и 1,1 см, но в соотношении 1/16 и в контроле с водой корешки опережают гипокотиль—1,89 и 2,05 см.

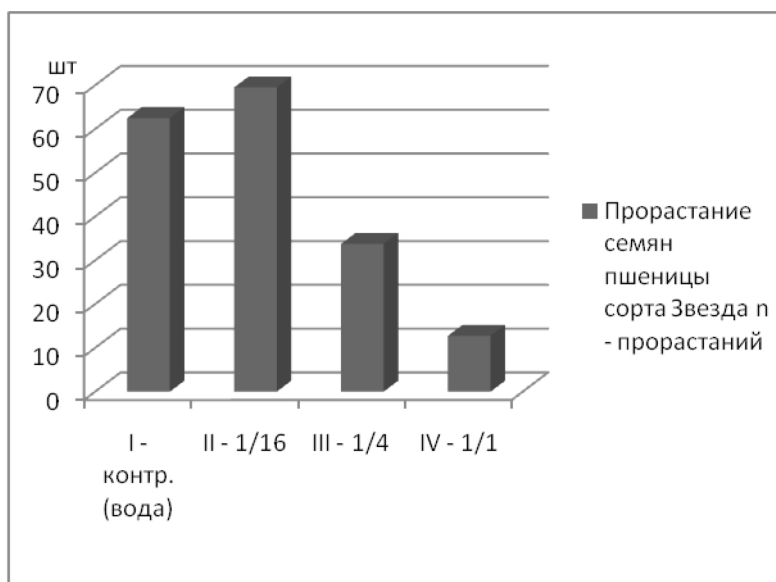


Рис.1. Количество проростков семян пшеницы на 5 сутки в разных концентрациях сока из корней борщевика.

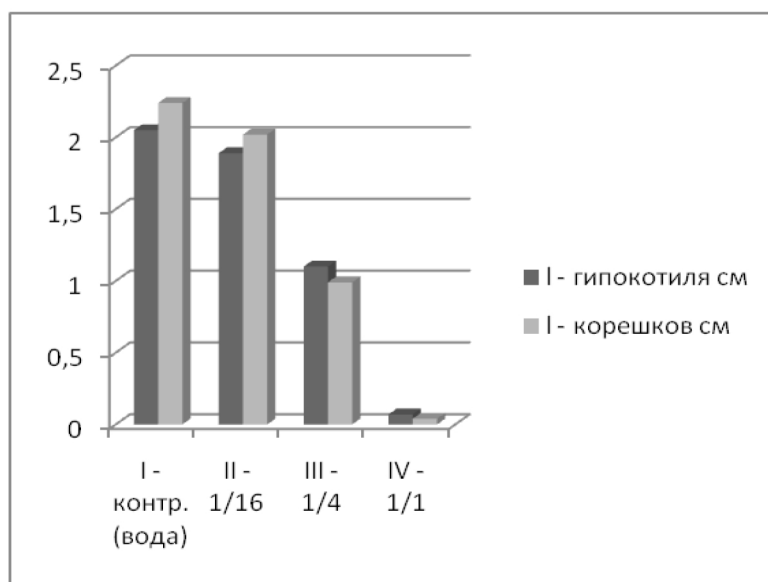


Рис.2. Длина проростков пшеницы на 5 сутки в разных концентрациях сока из корней борщевика.

Такой стимулирующий эффект сока на прорастание семян культурных растений дает возможность взглянуть на распространение «агрессивного» вида борщевика с положительной стороны. Эти данные имеют важное практическое значение в обработке семян пшеницы при посевах для увеличения количества проростков.

## ДЕЛЕНИЯ РАСТЯГИВАЮЩИХСЯ КЛЕТОК В КОРНЯХ РЯДА РАСТЕНИЙ

**Быстрова Е.И.<sup>1</sup>, Есков А.К.<sup>2</sup>, Жуковская Н.А.<sup>1</sup>, Иванов В.Б.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: ivanov\_vb@mail.ru*

<sup>2</sup>*Главный ботанический сад им. Н.В.Цицина РАН, Москва, Россия*

*E-mail: a.k.eskov@yandex.ru*

В большинстве растений клетки делятся только в меристемах.

Наши данные показывают, что в корнях проростков ряда сортов конских бобов и придаточных корнях монстеры митозы в некоторых тканях встречаются и в типичных растягивающихся клетках. Как правило, в большинстве корней на границе меристемы относительная скорость роста резко возрастает и она в 5–8 раз выше у растягивающихся клеток, чем у меристематических. Необходимо отметить, что до сих пор детально изучено корни немногих видов. В тех случаях, когда растягивающиеся клетки делятся, они растут с более низкой относительной скоростью, чем у клеток корней, в которых делятся только меристематические клетки. По сравнению с корнями, в других органах, например, растущих листьях двудольных, деления продолжают в растягивающихся клетках. Однако относительная скорость роста растягивающихся клеток листьев ниже, чем у меристематических клеток корней. Прекращение делений во время быстрого растяжения, по-видимому, обусловлено сложностью одновременного сочетания двух групп процессов, необходимых для деления клетки и ее быстрого роста растяжением. В жизненном цикле клеток прекращение делений и переход к растяжению, то есть росту с большей относительной скоростью и увеличением объема вакуолей, являются независимыми процессами. Показано, что в корнях, как и других органах растений, деления могут продолжаться во время растяжения. Быстрая остановка делений в корнях не ведет к одновременному переходу к растяжению всех клеток. В таких корнях, несмотря на полное подавление делений, переход к растяжению — быстрому росту у большинства клеток меристемы происходит в то же время, что и в необлученных корнях. В растущих листьях двудольных и плодах момент прекращения делений не сказывается на скорости роста листа.

Работа поддержана Грантом РФФИ 12-04-00745.

**ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ УСТЬИЧНОЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ  
ПРОВОДИМОСТИ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ ПРИ ПОВЫШЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ****Веселов Д.С., Шарипова Г.В., Тимергалин М.Д., Кудоярова Г.Р.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии  
Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия  
E-mail: veselov@anrb.ru*

Ранее нами было показано, что при повышении температуры воздуха снижается содержание АБК в листьях и повышается — в корнях. Было высказано предположение, что эта реакция способствует поддержанию устьиц в открытом состоянии и сохранению оводненности тканей за счет увеличения гидравлической проводимости и притока воды из корней. Кроме того, с помощью ингибитора рецепции этилена 1-МЦП было показано, что этилен может способствовать поддержанию устьиц открытыми, снижая уровень АБК в листьях. Для того, чтобы проверить предположение о роли АБК в регуляции гидравлической проводимости и в устьичной реакции растений на этилен, в данной работе мы изучили физиологический ответ на повышение температуры и обработку растений 1-МЦП у дефицитного по АБК мутанта ячменя AZ34 и его исходной формы Steptoe.

Повышение температуры сопровождалось возрастанием транспирации у растений обоих генотипов. Предобработка растений Steptoe 1-МЦП снижала на 40% уровень транспирации при повышенной температуре, в то время как ее уровень у мутанта не зависел от обработки ингибитором рецепции этилена и оставался высоким. Снижение уровня транспирации у растений Steptoe, обработанных 1-МЦП, указывает на роль этилена в поддержании устьиц открытыми при повышении температуры, а отсутствие реакции у дефицитного по АБК мутанта соответствуют предположению о том, что способность этилена предотвращать закрытие устьиц зависит от его влияния на накопление АБК. Водный потенциал листьев растений Steptoe не снижался при повышении температуры воздуха, несмотря на увеличение скорости транспирации, в то время как у растений AZ34 наблюдалось резкое уменьшение этого показателя. Измерение гидравлической проводимости корней показало, что ее уровень не менялся у дефицитного по АБК мутанта и возрастал у растений его исходной формы. Эти результаты соответствуют предположению о том, что именно АБК обеспечивает возрастание гидравлической проводимости и поддержание водного потенциала у растений при повышении скорости транспирации. Обработка корней растений Steptoe реактивом Фентона (ингибитор водных каналов аквапоринов: смесь перекиси водорода и сульфата двухвалентного железа) снижало их гидравлическую проводимость. В результате реакция растений этого сорта не отличалась от реакции дефицитного по АБК мутанта. Эти результаты подтверждают, что повышение гидравлической проводимости при нагреве воздуха связано с активностью аквапоринов.

При поддержке грантов РФФИ 12-04-01111 и Президента РФ МД-3291.2012.4.

## **НЕФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ УГЛЕВОДОВ КАК ПРИЧИНА СНИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНО-СУХИХ СЕМЯН ПРИ СТАРЕНИИ И ДЕЙСТВИИ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ**

**Веселова Т.В., Веселовский В.А.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: taveselova@yandex.ru*

Первичным признаком снижения качества семян является появление при проращивании проростков с морфологическими дефектами. Нами разработан метод оценки качества индивидуальных воздушно-сухих семян без проращивания, основанный на регистрации уровня их флуоресценции при комнатной температуре (ФКТ).

В распределении воздушно-сухих семян по уровню ФКТ партии пониженной всхожести есть три фракции. Из семян с низким уровнем ФКТ (фракция I) выросли нормальные проростки, определяющие всхожесть партии. Из семян с уровнем ФКТ вдвое большим (фракция II) выросли проростки с морфологическими дефектами. Семена с уровнем ФКТ в 3 и более высоким, чем у семян фракции I (фракция III) оказались мертвыми. Т.о. фракция I содержит сильные семена высокого качества, а фракция II — ослабленные.

Отобрав семена из максимумов распределений, сопоставили физиологические характеристики сильных и слабых семян. Уровень ФКТ тем выше, чем меньше влажность семян; это означало, что сильные семена имели большую влажность, чем слабые.

Скорость поглощения воды при набухании семян фракции II вдвое больше, чем у семян фракции I. Возрастание скорости поступления воды в семена при набухании и выхода электролитов в дистиллированную воду обычно трактуют как следствие увеличения проницаемости клеточных мембран за счет нарушений в их липидной части. Однако, используя ингибиторный анализ, нами было показано, что у семян фракции II скорость поступления воды возрастает из-за того, что при набухании водные каналы остаются открытыми, в то время как у семян фракции I они закрываются уже в первые 15–20 минут набухания. У семян фракции II инактивирован фермент фосфатаза, ответственный за закрывание каналов, а липидная часть мембран не нарушена.

По термохемилюминесценции порошков семян оценивали наличие продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и содержание глюкозы в воздушно-сухих семенах.

Оказалось, что содержание продуктов ПОЛ в семенах фракции II не увеличено по сравнению с семенами фракции I. Т.е. и этот показатель свидетельствовал, что ПОЛ не было причиной ухудшения качества семян на первых этапах старения.

Содержание глюкозы в семенах фракции II почти вдвое выше, чем у семян фракции I, то есть идет неферментативный гидролиз сложных углеводов. В воздушно-сухих семенах нет свободной воды, поэтому гидролиз может проходить, по-видимому, за счет связанной воды второго гидратного слоя. Понижение влажности семян при их переходе из фракции I во фракцию II также подтверждает это.

**ВЛИЯНИЕ КУЩЕНИЯ РИСА НА РОСТ, РАЗВИТИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ЕГО УРОЖАЯ****Воробьев Н.В., Скаженник М.А., Пшеницына Т.С., Брагина О.А.***ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт риса, г. Краснодар, Россия**E-mail: sma\_49@mail.ru*

Кущение риса оказывает большое влияние на рост и развитие его растений, на формирование урожая зерна и элементов его структуры у сортов и поэтому его изучение представляет большой интерес для селекции и технологии возделывания этой культуры. В фазу кущения формируется густота стеблестоя посева, его ассимиляционная поверхность, проходит дифференциация конуса нарастания на метамеры генеративных органов, определяется потенциальная продуктивность метелки. Кущение риса на недостаточно густых посевах существенно повышает урожайность за счет увеличения числа продуктивных побегов на единице площади. Однако в результате сильного кущения происходит загущение посевов, снижается их устойчивость к полеганию, понижается их урожайность, поэтому создание сортов с умеренным кущением является одним из важных механизмов повышения их продуктивности и адаптивности.

Влияние уровня кущения растений на урожайность ряда районированных и перспективных сортов риса исследовано недостаточно, что явилось нашей задачей. Эксперименты проводили в 2008–2009 гг. в вегетационных опытах: в железобетонных резервуарах (лизиметрах) на оптимальном фоне минерального питания ( $N_{24}P_{12}K_{12}$  г д. в. на  $1\text{ м}^2$ ) с использованием сортов Лиман, Рапан, Атлет, Гамма, Ренар и Соната, различающихся по уровню кущения растений и урожайности зерна. Густота растений—300 штук на  $1\text{ м}^2$ . В опытах в конце фазы кущения (8 листьев у риса) определяли величину общего кущения растений, число выполненных зерен на метелке, надземную биомассу посева, массу зерна и её долю ( $K_{\text{хоз}}$ ) в общей массе растений находили в фазе полной спелости.

Наблюдения показали, что фаза кущения у исследуемых сортов риса начинается тогда, когда у растений сформировались три настоящих листа с почками в их пазухах. Однако почка в пазухе первого листа, как правило, не развивается. Боковой побег, образованный из пазухи второго листа материнского обычно превращается в плодоносящий. Он, благодаря мощному притоку пластических веществ из главного побега, быстро формирует свою ассимиляционную поверхность и становится конкурентным в процессе поглощения ФАР,  $CO_2$  и элементов минерального питания, и в дальнейшем мало отличается в развитии от материнского побега. Однако у более сильно кустящихся сортов образуются боковые побеги из пазух третьего- четвертого листьев материнского. Они потребляют пластические вещества главного и в тот период, когда у него начинается дифференциация конуса нарастания, что вызывает конкуренцию за ассимиляты между этими органами растения, приводящую к ослаблению развития метелки материнского побега, к снижению её потенциальной продуктивности.

Помимо этого большое число боковых побегов у этих сортов увеличивает плотность посевов, усиливает ценотическое взаимодействие растений, связанное с ухудшением сре-

ды обитания внутри ценоза в результате недостатка фотосинтетически активной радиации (ФАР) и доступности  $\text{CO}_2$  воздуха, что обуславливает понижение интенсивности фотосинтеза, а отсюда и уменьшение притока ассимилятов к развивающимся структурам метелки.

Все это вызывает значительное уменьшение числа зерен на плодonoсе в полную спелость у сильно кустящихся сортов. У генотипов риса Рапан, Гамма и Ренар с умеренным кущением растений образовалось наибольшее количество зерен на метелке и на единице площади посева, что обусловило формирование у них повышенной урожайности.

Под влиянием разного уровня общего кущения растений несколько изменилась и структура урожая у исследуемых сортов, у сильно кустящихся в нем увеличилась доля урожая с боковых побегов, у которых зерновая продуктивность метелок в общей надземной массе заметно ниже, чем у главных. Это обусловило снижение уборочного индекса ( $K_{\text{хоз}}$ ) у данных генотипов и его тесную отрицательную связь с коэффициентом общего кущения растений.

Полученные результаты показывают, что важным признаком продуктивности сортов риса является величина общего кущения растений. При невысокой её значении формируются более озерненные метелки, опреляющие повышенную урожайность генотипа. При селекции высокоурожайных сортов риса следует обратить внимание на коэффициент общего кущения растений, предпочтительны формы с умеренным кущением.

## МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ УЗОРЧАТОЙ ДРЕВЕСИНЫ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ

Галибина Н.А., Новицкая Л.Л.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса  
Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия  
E-mail: ngalibina@sampo.ru*

Одна из форм березы повислой (*Betula pendula* Roth var. *pendula*), известная в России под названием карельская береза (*Betula pendula* var. *carelica*), высоко ценится в мире благодаря узорчатой текстуре древесины. Наряду с утилитарным значением карельская береза представляет собой уникальный объект исследования для познания механизмов морфогенеза древесных растений. Она характеризуется большим формовым разнообразием и высоким уровнем эндогенной изменчивости, развитие структурных аномалий тканей ствола у нее во многом зависит от воздействия факторов среды.

Установлено, что отклонения в деятельности камбия у карельской березы связаны с появлением избытка сахарозы в проводящей флоэме и изменением путей метаболизации дисахарида. Показано, что в норме сахароза оттекает из флоэмы в камбиальную зону, где в результате ее утилизации по сахарозосинтазному пути появляется большое количество УДФ-глюкозы, используемой на синтез компонентов клеточных стенок ксилемы. В зонах развития аномалий выявлена низкая активность сахарозосинтазы в ксилеме. Это приводит

к накоплению сахарозы в проводящих тканях. Высокая активность апопластной инвертазы в проводящей флоэме свидетельствует о выходе сахарозы в апопласт и образовании здесь большого количества гексоз. Моносахара индуцируют синтез запасных метаболитов и превращение камбиальных производных в клетки запасующей паренхимы, являющиеся структурной основой узорчатых тканей.

В результате многолетних исследований условий произрастания карельской березы установлено, что ареал карельской березы не распространяется на плодородные почвы. Опыты с внесением в почву нитрата калия продемонстрировали разнонаправленное действие повышенного содержания нитрат-анионов на метаболизм сахарозы в проводящих тканях ствола растений березы повислой, различающихся по текстуре древесины. У обычной березы повислой нитраты стимулировали использование сахарозы по сахарозосинтазному пути. У карельской березы высокие дозы нитратного удобрения приводили к сильному подавлению активности сахарозосинтазы и апопластной инвертазы со стороны древесины и росту активности обоих ферментов со стороны коры. Изменения в метаболическом статусе древесины карельской березы, с одной стороны, приводят к сильному сокращению ее приростов, с другой, к уменьшению в ней количества паренхимы, т.е. к нормализации строения. Возможно, данный механизм влияния высокого уровня азотного питания препятствуют естественному распространению «узорчатой» березы на плодородных почвах.

### **МАКРОКИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОСТА, УЧИТЫВАЮЩАЯ ЛИМИТИРУЮЩИЙ КОМПОНЕНТ СУБСТРАТА**

**Глазунов Г.П., Гендугов В.М., Харчук О.А.<sup>1</sup>**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*<sup>1</sup>Институт генетики и физиологии растений АН Республики Молдова, Кишинев, Молдова*

*E-mail: glazng@mail.ru, <sup>1</sup>kharchuk.biology@mail.ru*

Макрокинетическую модель роста клеточных популяций строили исходя из представления о том, что график экспериментальной зависимости «рост-концентрация» представляет собой совокупность точек пересечения плоскости, перпендикулярной оси времени, взятой для фиксированного времени в области наблюдения роста, с индивидуальными траекториями роста клеточных популяций, соответствующими отдельным концентрациям

В рамках макрокинетического подхода с использованием представлений сплошной среды из балансовых соотношений выведена система дифференциальных уравнений, описывающих рост клеточной популяции с учетом начальной концентрации лимитирующего компонента субстрата (НКЛКС); как результат решения этой системы дифференциальных уравнений получена формула, описывающая динамику роста клеточных популяций в зависимости от НКЛКС. Для выбранного значения НКЛКС эта формула сводится к формуле динамики с графиком в виде деформированного колокола. Исследованием производных на графике выявлено шесть особых точек, делящих график на интервалы, которые могут быть



сопоставлены с этапами роста. При фиксировании значения времени формула сводится к формуле роста в фазовом пространстве зависимости роста от НКЛКС. Исследованием производных на этом графике тоже выявлено шесть особых точек, делящих его на диапазоны с собственными «кинетическими» характеристиками изменения роста в зависимости от изменения НКЛКС. Особые точки (трактовка которых определяется кинетикой, но должна быть согласована с данными экспериментов) обеспечивают объективную основу для сравнительных исследований. Полученные решения полезны при исследовании динамики роста клеточных популяций и динамики отклика на воздействия.

В работе излагаются:

- 1) вывод формулы зависимости роста клеточной популяции от времени при фиксированной НКЛКС,
- 2) вывод формулы роста клеточной популяции в фазовом пространстве зависимости роста от НКЛКС при фиксированном времени,
- 3) анализ особых точек кривых роста и дозовых кривых на примере собственных и литературных данных.

## **ПОГЛОЩЕНИЕ ВОДЫ СЕМЕНАМИ ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ (*BRASSICA ALBA*) ИЗ НАСТОЕВ БАРХАТЦЕВ ОТКЛОНЕННЫХ (*TAGETES. PATULA L.*)**

**Глубшева Т.Н., Белавцева С.В., Григорович С.В.**

*НИУ «БелГУ», Белгород, Россия*  
*E-mail: glubsheva@bsu.edu.ru*

Рассмотрено влияния настоев бархатцев отклоненных *Tagetes patula L.* — сорта Оранжефламме на поглощение воды семенами горчицы белой — *Brassica alba L.* — сорта Радуга при разных температурах (4°С, 22°С, 30°С, 45°С), реакциях среды (рН=5, рН=7, рН=8) и концентрации настоя (0%, 1%, 2,5%, 5%).

Набухаемость семян в контроле (22°С, вода) составила 150,0±1,9%. При 4°С, различных концентрациях настоя и реакциях среды она варьировала от 97,3±1,2% до 127,0±0,8%, что свидетельствует о сильном угнетающем действии низкой температуры. В условиях 30°С при различных концентрациях настоя и реакциях среды она варьировала от 125,0±1,9% до 154,0±1,9%. В этом случае чем выше концентрация настоя, тем сильнее проявляется угнетение набухаемости. Реакция среды достоверно снижает набухаемость только при 2,5% и 5% концентрациях настоев. При 45°С, различных концентрациях настоя и реакциях среды набухаемость варьировала от 77,7±1,2% до 106,7±1,2%. Отсюда понятно, что высокие температуры тормозят поглощение воды. При этой температуре и нейтральной реакции среды набухаемость изменялась от 101,3±1,2% до 106,7±1,2%, то есть высокие температуры играют гораздо большее влияние, чем концентрация настоя. Изменение реакции среды в большую или меньшую сторону при соответствующей концентрации не показало достоверных различий.

Прямая зависимость между концентрацией настоя и снижением набухаемости проявилась в отдельных случаях. Так, при 4°С нейтральной реакции среды при всех концентрациях и щелочной реакции для 2,5%. Также закономерность проявилась при 22°С в кислой среде для 2,5% и 5%. В условиях 30°С различия достоверно различались в нейтральной среде при 5%, в кислой среде при 2,5% и 5% и в кислой среде при всех концентрациях. При 45°С только 5% настои во всех реакциях среды давали достоверные снижения набухаемости.

Рассматривая влияние кислотности настоя, выявлено, что как ее повышение, так и ее снижение относительно контроля при различных температурах и концентрациях настоев приводит к достоверному снижению набухаемости семян горчицы. В то же время различий между кислой и щелочной реакциями при всех сочетаниях температуры и концентрации не наблюдалось.

## **УЧАСТИЕ МЕЛАТОНИНА В ПЕРЕДАЧЕ ФОТОПЕРИОДИЧЕСКОГО СИГНАЛА НА СЕЛЕКТИВНОМ СВЕТУ**

**Головацкая И.Ф., Комарова У.А., Соловьева Е.В.**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия  
E-mail: [golovatskaya.irina@mail.ru](mailto:golovatskaya.irina@mail.ru)*

Свет является внешним фактором, изменения параметров которого характеризуются строгой периодичностью. Именно к этому фактору у большинства организмов выработаны многочисленные адаптации. Среди них выделяют фотопериодические реакции цветения, движения листьев, динамику роста растений и другие.

Известно, что суточная ритмика процессов жизнедеятельности животных и человека регулируется гормоном мелатонином. Это же вещество можно предположить в качестве регулятора периодичности процессов и у растений, поскольку обнаружена суточная динамика его уровня. В природе сигналом изменения продолжительности светлого времени суток для растительного организма служит изменение спектрального состава света. Не достаточно данных о реакциях растений в ответ на действие разного по продолжительности фотопериода селективного света, что имеет значение для регулирования искусственных биосистем. В связи с этим изучали влияние мелатонина (Мел) и разных фотопериодов синего (СС) и красного (КС) света на морфогенез и биохимические показатели проростков *Arabidopsis thaliana* L. (Heynh.) экотипа Columbia (Col).

В ходе нашего эксперимента было установлено увеличение размеров структурных элементов у 5-дневных проростков *A. thaliana* на коротком дне (КД) КС по сравнению с КД СС. Увеличение продолжительности освещения СС с 7 до 14 ч в течение 24-часовых суток приводило к уменьшению линейных размеров гипокотилия и увеличению размеров семядолей и корня проростков. Эффективность КС в регуляции ростовых процессов была снижена. Введение в жидкую питательную среду  $10^{-13}$  М Мел на КД СС вызывало укорочен-

чение гипокотыля и удлинение корня, что соответствовало ответным реакциям проростков на действие света. Возможно, что Мел усиливал светозависимые реакции. С удлинением фотопериода происходило увеличение поверхности семядолей, которое сопровождалось увеличением содержания трех групп фотосинтетических пигментов на СС или его уменьшением на КС. Добавление Мел немного тормозило растяжение семядолей, многократно увеличивая уровень пигментов. Эффект экзогенного гормона проявлялся в большей степени на КД СС, чем на ДД СС, КД КС и ДД КС.

Таким образом, полученные данные свидетельствовали о специфических ростовых и метаболических реакциях проростков *A. thaliana* в ответ на короткий и длинный фотопериод селективного света, а также повышенной чувствительности ростовых и метаболических реакций к Мел на коротком дне.

Исследования частично поддержаны Госзаданием Минобрнауки России вузам (№01201256295).

## **ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РЕГУЛЯЦИИ РАЗВИТИЯ СОЦВЕТИЯ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*T. AESTIVUM* L.) НА ПРИМЕРЕ ГОМЕОЛОГИЧНЫХ ГЕНОВ *WFZP***

**Добровольская О.Б.<sup>1</sup>, Сальс Ж.<sup>2</sup>, Попова О.М.<sup>1</sup>, Орлов Ю.Л.<sup>1</sup>, Мартинек П.<sup>3</sup>,  
Лайкова Л.И.<sup>1</sup>, Салина Е.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup> *Национальный институт сельского хозяйства, отделение генетики, разнообразия и экофизиологии злаков, Клермонт-Ферранд, Франция*

<sup>3</sup> *Агротест фито Лтд, Кромержиж, Чешская Республика*  
*E-mail: oxanad@ionet.nsc.ru*

Несмотря на огромное разнообразие форм соцветий, генетические механизмы, лежащие в основе развития соцветий основных групп высших растений, однодольных и двудольных, в целом, консервативны. Исключением являются генетические пути, регулирующие развитие некоторых меристем специфичных только для определенных таксономических классов, например, для семейства злаковых, к которому относятся такие важные сельскохозяйственные культуры как рис, кукуруза, пшеница, ячмень и рожь. Основной особенностью соцветия злаковых, колоса, является наличие колоска, редуцированной ветви, дающей начало меристемам цветка. Цель настоящей работы — установление и изучение структурно-функциональной организации генов мягкой пшеницы, участвующих в контроле развития соцветия на стадии развития колоска, уникальной структуры характерной только для соцветия злаковых на примере гена *WHEAT FRIZZY PANICLE (WFZP)*. *FZP* является одним из ключевых регуляторов развития соцветия риса. В ходе выполнения настоящего проекта ген *WFZP* был клонирован в геноме мягкой пшеницы по гомологии с геном риса *FZP*. Впервые определена первичная структура ДНК кодирующей области и регуляторных районов генов гомеологов *WFZP*, *WFZP-A*, *WFZP-B* и *WFZP-D*. Выявлены особенности строения генов *WFZP* у мутантных форм мягкой пшеницы с изменой морфо-

логией колоса, связанной с образованием дополнительных колосков в уступах колосового стержня. Изучен паттерн экспрессии гена *WFZP* у мягкой пшеницы и показало, что все три гомеологичные копии изучаемого гена экспрессируются только в развивающемся колосе, на определенном этапе развития. Выявлены особенности экспрессии *WFZP* у мутантов мягкой пшеницы с измененным строением колоса.

## **СИСТЕМНОСТЬ ФОТОПЕРИОДИЧЕСКОГО И ЯРОВИЗАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ**

**Жмурко В.В., Авксентьева О.А.**

*Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина,  
кафедра физиологии и биохимии растений, Украина, Харьков  
E-mail: zhmurko@univer.kharkov.ua*

Одной из важнейших проблем в исследовании закономерностей развития растений является выяснение механизмов фотопериодического и яровизационного контроля. Уже около столетия исследуются его физиолого-биохимические процессы. В конце прошлого века и в первое десятилетие этого накоплен огромный массив данных о молекулярно-генетической регуляции перехода растений к цветению в условиях разной длины дня и при яровизации. Идентифицированы гены контроля фотопериодической реакции у пшеницы, ячменя, риса (*PPD*) и сои (*EE*), а также гены потребности в яровизации у пшеницы, ячменя и арабидопсиса (*VRN*). Интенсивно исследуются механизмы их экспрессии при фотопериодической индукции и яровизации. Сформулирован ряд теорий и гипотез, которые в той или иной мере раскрывают отдельные стороны биологической природы фотопериодической реакции и озимости растений. Однако далеко не полно решен вопрос о том, почему длиннодневные растения ускоряют развитие на длинном дне, короткодневные — на коротком, а фотопериодически нейтральные растения не изменяют темпов развития при разной длине дня. Не решен также вопрос о том, какие процессы, изменяясь под влиянием яровизации, обуславливают переход к цветению озимых растений. Анализ существующих теорий и гипотез о биологической природе фотопериодизма и озимости растений и многочисленных литературных данных показывает, что подавляющее число авторов главную роль в фотопериодическом и яровизационном контроле развития растений отводят какому либо одному процессу или даже веществу — или только фитогормонам (например, флоригену), или только трофическим процессам, или только фитохромной системе, или только генетической детерминации. Несомненно, что все они в той или иной мере участвуют в регуляции развития растений. Однако мы считаем, что каждая из известных систем регуляции сама по себе (отдельно от других) не может определять темпы развития растений в разных фотопериодических условиях и при яровизации. Нормальный ход процесса развития растений в этих условиях может обеспечиваться только в том случае, если фитогормональные, трофические, фитохромные, генетические и другие процессы регуляции функционируют как комплементарная система. Это возможно лишь в благоприятных для

развития фотопериодических условиях и при яровизации, что обеспечивает нормальный ход развития растений. В неблагоприятных фотопериодических условиях и в отсутствии яровизации нарушается комплементарность системы регуляции, что приводит к замедлению развития растений.

## **ВЛИЯНИЕ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ НУКЛЕАЗ В СЕМЕНАХ ЯЧМЕНЯ И КАПУСТЫ**

**Задворнова Ю.В.**

*Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича  
НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
E-mail:zadvornova\_julia@mail.ru*

Изучение механизмов, лежащих в основе старения семян при хранении, а также возможности его контроля, представляет интерес для исследователей, работающих в области биологии семян. Одним из факторов снижения жизнеспособности семян может быть активация гидролитических ферментов, таких как нуклеазы, приводящая к расщеплению белков и углеводов и накоплению разрывов в ядерной ДНК.

Целью нашей работы являлось изучение активности нуклеаз в семенах разного качества. Объектом исследования служили семена, подвергнутые ускоренному старению (УС) при 40°С и 86%-ной влажности воздуха. Условия УС (7–10 дней) приводили к снижению всхожести семян по сравнению с контролем. Полная гибель семян происходила после 14 дней неблагоприятного хранения. Изучение активности нуклеаз в семенах проводили двумя методами: методом рестрикции суперспирализованной ДНК плазмиды рВR332 в цитозоле и методом определения активности ферментов в полиакриламидном геле.

Известно, что деградация ДНК связана с индукцией активности нуклеаз. Поэтому в полученных образцах также было проведено изучение целостности ядерной ДНК. ДНК выделяли из сухих семян и предварительно набухавших 14 часов в воде (до видимого проклевывания). У семян после 7 дней УС и необработанных семян нарушения целостности ядерной ДНК выявлены не были как в сухих семенах, так и после набухания. Незначительные изменения в целостности ядерной ДНК были выявлены в сухих семенах, подвергнутых 14 дням УС. После 14 ч набухания таких семян происходила сильная деградация ДНК. Аналогичные данные были получены и для семян ячменя.

Динамика рестрикции ссДНК плазмиды рВR332 в присутствии цитозольных фракций, выделенных из семян разного качества, соответствовала интенсивности деградации ДНК. Результаты указывают на то, что под влиянием ускоренного старения в семенах в первые часы набухания индуцируется эндонуклеазная активность.

При исследовании нуклеазной активности методом *in-gel* было выявлено в семенах капусты наличие двух белков и семенах ячменя одного, обладающих нуклеазной активностью. Обнаруженные белки присутствовали в сухих семенах, и индукция их активности

происходила в процессе их набухания и усиливалась по мере их старения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в семенах капусты и ячменя одновременно функционируют нуклеазы, индуцируемые как в процессе неблагоприятного хранения семян и вызывающие деградацию ядерной ДНК, так и функционирующие до инициации процесса нарушения целостности ДНК.

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА В СВЯЗИ С ВИДО- И СОРТОСПЕЦИФИЧНОСТЬЮ

Зейслер Н.А., Смирнова Э.А., Мудрова Е.В., Бахтенко Е.Ю.

*ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный педагогический университет»,*

*г. Вологда, РФ*

*e-mail: bakhtenko@yandex.ru*

В XX в. была установлена способность кремния образовывать биологически активные соединения (силатраны), которые при поступлении в живые организмы оказывают регулирующее влияние на важнейшие метаболические процессы. На основе силатранов разработан ряд регуляторов роста и развития растений, которые отличаются эффективностью, технологической простотой получения, доступностью исходного сырья и не имеют аналогов за рубежом.

Целью работы являлось изучение влияния кремнийорганических (силатрановых) регуляторов роста на биологическую и хозяйственную продуктивность ячменя обыкновенного и овса посевного. Использовали препараты черказ (1-хлорэтилсилатран), «Энергия» (4-хлорметилсилатран), мивал (1-хлорметилсилатран) и экспериментальные препараты, представляющие смеси 1-этилсилатрана и крезацина в различном соотношении (Ч-4, Ч-9, Ч-11). Исследования проводились на учебно-опытном поле университета в условиях полевого мелкочаечного опыта. Объектами являлись районированные в Вологодской области сорта *Avena sativa* L. Аргамак, Вогуш, Фухс и *Hordeum vulgare* L. сорт «Отра».

Поводили предпосевную обработку семян и опрыскивание растений в фазу кущения. Контрольные растения обрабатывали водой. Определяли морфометрические показатели (число листьев, продуктивную и общую кустистость, площадь листовой поверхности, сырую и сухую массу побега), структуру урожая (озерненность, массу зерна с растения, массу 1000 зерен), коэффициент хозяйственного использования ( $K_{хоз}$ ), продолжительность вегетационного периода и фаз онтогенеза.

Регуляторы роста оказали значительное влияние на сырую и сухую биомассу растений, массу зерна с растения. В меньшей степени обработка регуляторами роста повлияла на процесс кущения.

Наблюдалась общая реакция обеих зерновых культур. Так, после обработок препаратами «Мивал», «Энергия» и «Черказ 11» прирост биомассы побега и зерновой продуктивности наблюдался в большей степени. Кроме того, обсуждается специфика от-

ветных реакций растений в зависимости от химической природы кремнийорганических веществ — компонентов регуляторов роста, биологических особенностей исследуемых видов и сортов.

## **ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДИМОСТИ РОСТСТИМУЛИРУЮЩЕГО И ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРЕПАРАТОВ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ**

**Злотников А.К.**

*ООО «Научно-производственная фирма «Альбит», г. Пуццино Московской обл., Россия  
E-mail: artur@albit.ru*

По литературным данным известно, что эффект от использования биопрепаратов для стимуляции роста сельскохозяйственных растений может колебаться в широких пределах от увеличения урожая на 40 % до его снижения на 20 % в зависимости от условий применения. При создании биопрепарата «Альбит» с целью уменьшения variability эффекта было предложено использование микробного метаболита — запасного вещества поли-бета-гидроксимасляной кислоты вместо живых клеток микробных продуцентов.

С использованием коэффициента вариации  $V$  (отношение стандартного отклонения к среднему по выборке) была проведена оценка воспроизводимости действия «Альбита» и препаратов-эталонов в серии многолетних полевых опытов на зерновых колосовых, кукурузе, подсолнечнике, сахарной свёкле, картофеле, овощных и плодовых культурах. В 125 опытах сравнивали защитное действие «Альбита» и эталонов (по биологической эффективности против болезней), в 162 опытах — ростстимулирующее (по прибавке урожайности к контролю).

Анализ результатов сравнительных опытов показал, что «Альбит» в среднем по действию на урожай в 2,24 раза превосходил биопрепараты-аналоги и был способен обеспечивать примерно одинаковую с химическими препаратами урожайность. Биологическая эффективность «Альбита» составляла 76 % от активности химических фунгицидов и 160 % от других биопрепаратов и регуляторов роста. Variability эффекта биопрепаратов была в среднем на 91–96 % выше, чем у «Альбита», а по воспроизводимости ростстимулирующего эффекта «Альбит» на 26 % превосходил химические препараты.

Абсолютный коэффициент вариации прибавки урожая биопрепаратов и регуляторов роста (за исключением «Альбита») составил в среднем 130 %, в т.ч. биопрепаратов на основе живых микроорганизмов — 225 %, «Альбита» — 52 %, синтетических химических фунгицидов — 59 %. По биологической эффективности против болезней коэффициенты  $V$  составляли соответственно 48, 52, 33 и 29 %, т.е. также была отмечена более высокая variability биопрепаратов.

Таким образом, на большом фактическом материале было установлено, что воспроизводимость действия регуляторов роста в растениеводстве может быть повышена путём использования индивидуальных соединений вместо живых микробных клеток. Причиной



низкой воспроизводимости действия живых микроорганизмов может быть влияние на их физиологические процессы факторов внешней среды, а также высокая вероятность элиминации интродуцированных популяций, не выдерживающих конкуренции с естественным микробным сообществом филлосферы и ризосферы.

### **СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЭКОТИПОВ ВЫСОТНОГО ПРОФИЛЯ КЕДРА СИБИРСКОГО В ПРОЦЕССЕ РОСТА**

**Зуева Т.И.**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия  
E-mail: rudnik@mail.ru*

Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour) является одной из основных лесообразующих пород и в связи с широким ареалом характеризуется большим адаптивным потенциалом. Рост хвои в течение вегетационного периода во многом определяет дальнейшее увеличение биомассы растения. Во время роста хвои происходят структурные и функциональные перестройки в тканях; любые изменения в почвенно-климатических условиях произрастания в той или иной степени отразятся на конечных размерах ассимиляционного аппарата и его функциях. Реакцию растений на изменение климата можно смоделировать при выращивании различных экотипов кедра сибирского в географических плантациях. Целью данной работы являлось исследование динамики роста и накопления фотосинтетических пигментов в однолетней хвое у высокогорных и низкогорных экотипов кедра сибирского по сравнению с томским экотипом (контроль) при выращивании в оптимальных условиях. В ходе исследования хвои было показано, что средняя скорость линейного роста хвои высокогорного экотипа была максимальной в конце июня и составила 2,5 мм/сут., к этому времени хвоя успела вырасти на 50 % от конечной своей длины. Максимальный суточный прирост (3 мм/сут.) хвои низкогорного экотипа был отмечен позже, в начале июля и совпадал с контролем. Хвоя к этому времени выросла на 86 % от конечной длины. Дальше рост хвои экотипов продолжался, но с очень низкой скоростью. Интенсивный линейный рост хвои высокогорных и низкогорных экотипов продолжался приблизительно 60 дней, что соответствовало контролю. К концу роста длина хвои у высокогорного экотипа была на 18 % короче хвои низкогорного экотипа. При этом наименьшую длину по сравнению с контролем наблюдали у высокогорного экотипа, разница составила 32 %. Рост хвои в толщину у всех экотипов закончился в конце июня. В конце роста значимых различий между высокогорным и низкогорным экотипом не наблюдалось, при этом их хвоя была на 20 % тоньше, чем у контроля. Наряду с этим в период интенсивного накопления биомассы хвои (конец июня), произошло значительное увеличение содержания хлорофиллов (Хл) и каротиноидов. За этот месяц количество Хл



*a* и *Xл b* увеличилось на 70 %, а количество каротиноидов на 60 % у всех изучаемых экотипов. К концу роста хвои высокогорные экотипы накопили практически такое же количество *Xл a* и *Xл b* (1147,1 мкг/г) по сравнению контролем (1115,8 мкг/г), а низкогорные экотипы на 20 % меньше. Количество желтых пигментов у всех исследованных экотипов было примерно одинаковым (151,3-160,3 мкг/г), разница составила не более 6 %. Таким образом, изменчивость пула фотосинтетических пигментов хвои в значительной степени была связана с разными темпами роста и развитием листового аппарата у модельных объектов, которые, вероятно, обусловлены наследственно закрепленными приспособлениями к условиям произрастания.

## **ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ МИТОТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ В РАСТЕНИЯХ**

**Иванов В.Б.**

*Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия,  
E-mail: ivanov\_yb@mail.ru*

В докладе подводятся итоги 60-летнего изучения продолжительности митотических циклов в растениях. В настоящее время имеются данные о продолжительности циклов в меристемах корней примерно в 200 видов растений из разных семейств. Гораздо меньше есть данных о продолжительности митотических циклов в апикальных меристемах и листьях. Большое внимание в литературе уделялось анализу связи между продолжительностью циклов и содержанием ядерной ДНК. Проведенный анализ показал, что необходимо рассмотреть эту зависимость, анализируя данные для отдельных семейств. Оказывается, что резкая зависимость между длительностью циклов и содержанием ДНК характерна из изученных видов только для растений из семейства лилейных или близких к ним. Для остальных семейств выявляется только очень слабая зависимость между содержанием ДНК и длительностью цикла. Наряду с возрастанием продолжительности цикла с увеличением содержания ДНК у растений с большим содержанием ДНК в ядре относительно больше размер семян и размеры апикальных меристем корней, что компенсирует более редкое деление клеток и позволяет поддерживать высокую скорость роста корней после прорастания. В корнях митотические циклы короче, чем в большинстве других органов растений. У разных видов продолжительность циклов различается незначительно, кроме небольшой группы лилейных с очень длительными циклами. Следовательно, заметные различия в размерах и скорости роста корней обусловлены не за счет разной частоты деления клеток, а в результате разных размеров меристем. В докладе будут рассмотрены специфика роста разных органов растений.

Работа поддержана грантом РФФИ 12-04-00745

**НАСТУПЛЕНИЕ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ МИКРОФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФАЗ  
У СЕМЯН ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СКОРОСТИ ПРОРАСТАНИЯ**

**А.С.Казакова**

*ФГОУ ВПО «Азово-Черноморская агроинженерная академия»,*

*г. Зерноград, Ростовская обл.*

*Тел.: (863)59-40-601, факс: (863)59-38-830, e-mail: Kasakova@inbox.ru*

Любая партия семян любого сорта сельскохозяйственной культуры всегда характеризуется их разнокачественностью по скорости прорастания. Ранее мы описали процесс прорастания семени от замачивания до появления полноценных проростков (согласно ГОСТ) через ряд морфологических состояний, названных нами микрофенологические фазы прорастания семян (далее просто фазы): сухая зерновка (СЗ), начало набухания (НН), наклеивание (или точка Т), вилка (К1), короткие корешки (К2), длинные корешки (К3), росток (Р), проросток (П) (Казакова, Козяева, 2009). Целью данного исследования явилось изучение времени наступления и продолжительности каждой фазы семян ярового ячменя сорта Рубикон трёх лет репродукции, достигающих фазы П через 3...7 суток (далее просто фракции 3...7). Семена проращивали в кюветах при +20°С и через каждые 2 часа кругло-суточно определяли фазу каждого семени, а затем рассчитывали время наступления и продолжительность каждой фазы. Семена, прорастающие через 3 суток, названы эталонными, так как по ним, согласно ГОСТ, определяют энергию прорастания.

Установлено, что в партиях семян трёх лет репродукции присутствуют семена, отличающиеся по скорости прорастания: в среднем за три года семена фракций 3, 4, 5, 6 (фракция 7 отсутствует, т.к. все семена прорастали через 6 суток) наклеивались через 18, 21, 23 и 26 часов от замачивания, а фазы П они достигали через 65, 82, 106 и 124 часа, соответственно. В первом случае разница между крайними значениями составляет 8, а во втором — уже 59 часов, так как у медленно прорастающих семян наступление каждой очередной фазы наступало с некоторым собственным запаздыванием. У семян фракций 3, 4, 5 и 6 продолжительность фазы Т составляет 10, 10, 17 и 17 часов; фазы К1 — 6, 6, 8 и 10 часов; фазы К2 — 14, 21, 31 и 42 часа; фазы К3 — 13, 17, 25 и 29 часов; фазы Р — 6, 7, 9 и 9 часов, соответственно. Максимальное увеличение продолжительности по сравнению с эталонными семенами приходится на фазы К2 (Квар.=51.6%) и К3 (Квар.=39%), которые соответствуют интенсивному новообразованию и росту корешков проростка. Структура периода прорастания от замачивания семян до фазы П для эталонных семян имеет вид: фаза набухания в процентах от общего — 28-30%, фазы Т, К1, К2, К3, Р составляют 15, 8-9, 21, 20, 9-10%, соответственно. Семена фракций 4, 5 и 6 по сравнению с эталонными характеризуются сокращением доли периода набухания и увеличением доли фаз К2 и К3. Полученные результаты позволяют по-новому представить проблему разнокачественности семян по скорости прорастания. Отстающие семена ярового ячменя позже вступают в фазы прорастания, медленнее их проходят, а также претерпевают изменение структуры всего периода прорастания.

## ОСОБЕННОСТИ РОСТА РАСТЕНИЙ ТОМАТОВ НА СУБСТРАТАХ, ИНОКУЛИРОВАННЫХ БАКТЕРИЯМИ-АНТАГОНИСТАМИ РОДА *BACILLUS*

Калацкая Ж.Н.<sup>1</sup>, Ламан Н.А.<sup>1</sup>, Молчан О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича*

*НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

<sup>2</sup>*Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*E-mail: kalatskayaj@mail.ru*

Работами многих исследователей доказана возможность успешного применения микроорганизмов-антагонистов и их метаболитов для защиты культурных растений от болезней. В последние годы возрос интерес к ризосферным и эпифитным бактериям как антагонистам фитопатогенов. Установлено, что некоторые бактерии способны заселять органы и ткани растений с фазы всходов и функционировать на них и в них на протяжении длительного периода жизни. Сосуществование бактерий-антагонистов с растением способствует профилактике заболеваний, так как предотвращает проникновение в него патогенных микроорганизмов.

Целью данной работы было исследование штамма спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis*, проявляющего высокую антагонистическую активность к широкому спектру фитопатогенных грибов и бактерий, в качестве потенциального интродуцента органо-минеральных субстратов, а также оценка его влияния на рост и развитие растений томатов.

Проведенное исследование выделенного штамма бактерий-антагонистов продемонстрировало его высокую приживаемость в почвогрунтах и ризосфере растений, а также способность оказывать регулирующее воздействие на состав почвенной микробиоты путем подавления развития патогенных микроорганизмов. Так, под влиянием антагонистов численность фитопатогенного гриба *Fusarium oxysporum* к концу эксперимента (30 сут.) составляет  $6,5-6,6 \cdot 10^2$  КОЕ/г почвы, тогда как в контроле достигает уровня  $2,2 \cdot 10^5$  КОЕ/г почвы. Титр фитопатогенных бактерий *Pseudomonas syringae* в присутствии антагонистов не превышает  $3,4-4,1 \cdot 10^4$  КОЕ/г почвы, а в контрольном составляет  $3,6 \cdot 10^7$  клеток/г почвы.

При оценке морфометрических показателей 30-дневных растений томатов сорта Вежа установлено, что инокуляция бактериями *B. subtilis* почвогрунтов положительно влияет на рост и развитие растений томатов. На более бедном по содержанию общего азота питательном грунте «Двина» получены достоверные различия по массе растений при внесении в грунт культуральной жидкости бактерий, увеличение массы происходило в основном за счет утолщения побега и увеличения объема корневой системы. На более богатом питательными элементами разработанном органо-минеральном субстрате достоверных различий по морфометрическим показателям растений томатов не выявлено, однако наблюдается характерная тенденция стимуляции роста и развития растений. Эффективность влияния бактерий-антагонистов на развивающиеся растения, по-видимому, во многом будет зависеть от количества в субстратах элементов минерального питания, особенно общего азота.

**СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ РЕГУЛЯТОРА РОСТА МЕЛАФЕНА И ФИТОГОРМОНОВ  
НА КОМПОНЕНТЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ****Кириллова И.Г.***ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет», Россия, Орел**E-mail: kaf\_botany@univ-orel.ru*

В данной работе исследовано совместное действие регулятора роста — мелафена и природных фитогормонов (ИУК и ГА3) на компоненты антиоксидантной системы — активность ферментов-антиоксидантов (пероксидазы, каталазы, аскорбатоксидазы, полифенолоксидазы), а также на концентрацию гидроперекисей и малонового диальдегида (конечного продукта перекисного окисления липидов) в органах растения картофеля. Мелафен относится к гетероциклическим и фосфорорганическим соединениям, а именно, к меламиновой соли бис(оксиметил)фосфинофой кислоты. Исследования проводили с растениями картофеля сорта Удача, которые выращивали в условиях вегетационного домика в почвенной культуре. Обработку растений проводили путем замачивания посадочных клубней в водных растворах: мелафена — в концентрации  $10^{-5}$ , ИУК и ГА3 —  $10^{-5}$  М/л в течение 10 часов. Определяли следующие показатели: активность пероксидазы по методу Бояркина, аскорбатоксидазы и полифенолоксидазы — спектрофотометрическим методом, каталазы — газометрическим методом, количество продуктов ПОЛ (концентрацию малонового диальдегида (МДА) по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой, гидроперекисей — по реакции с роданистым аммонием). Определение показало, что активность пероксидазы в клубнях (во время снятия опытов) повышается в вариантах: «мелафен» и «мелафен +ИУК». В варианте «мелафен + ГА3» этот показатель оказался на уровне контроля. Активность каталазы в клубнях также повысилась в вариантах: «мелафен» и «мелафен+ИУК», а в варианте «мелафен + ГА3, напротив, несколько понизилась. Что касается аскорбатоксидазы, то отмечена тенденция к повышению активности этого фермента в клубнях картофеля во всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Существенно повысилась активность данного фермента в варианте «мелафен +ИУК». Активность полифенолоксидазы, напротив, понизилась во всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Определение продуктов ПОЛ показало, что в листьях растения картофеля в фазе бутонизации понизилось количество МДА (приблизительно в равной степени во всех вариантах опыта по сравнению с контролем, т.е. в 1,3 раза). Что касается содержания гидроперекисей, то отмечено их снижение в листьях растений, обработанных мелафеном. В клубнях растения картофеля также отмечено снижение содержания МДА и гидроперекисей, особенно, в варианте «мелафен +ИУК». Таким образом, в результате проведенных исследований выявлен синергизм в действии ИУК и мелафена на компоненты антиоксидантной системы растения картофеля.

## **ВЛИЯНИЕ ГАПТЕНА НА РЕГУЛЯТОРНУЮ ФУНКЦИЮ АГГЛЮТИНИНА ЗАРОДЫШЕЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ЭКЗОГЕННОМ ДЕЙСТВИИ НА СЕМЕНА**

**Кириченко Е.В.**

*Институт физиологии растений и генетики  
Национальной академии наук Украины, Киев, Украина  
E-mail: leki07@mail.ru*

Агглютинин зародышей пшеницы (АЗП) — белок с широким спектром биологической активности. Нами показано, что одним из проявлений такой активности при экзогенном действии лектина на семена пшеницы является активация роста, развития растений и повышение их продуктивности. Реализация генетической программы роста и развития растений обеспечивается сбалансированным функционированием фитогормональной системы. Установлено, что рострегуляторная активность экзогенного лектина связана с увеличением в листьях пшеницы уровня эндогенных цитокининов зеатина и зеатинрибозиды в 2,4 и 3,4 раза, ИУК — вдвое. В основе реализации регуляторной функции лектинов лежит их углеводная специфичность. Углевод–гаптен при связывании с лектином изменяет степень проявления биологической активности белка. Нами показано, что N-ацетил-D-глюкозамин (один из гаптенов АЗП) в композиции с лектином при предпосевной обработке семян пшеницы яровой приводил к снижению в листьях растений уровня гормонов цитокининовой и ауксиновой природы (в 1,5 и 1,2 раза соответственно) по сравнению с действием АЗП. Наряду с этим, уменьшалось содержание хлорофилла в листьях (в 1,2 раза), а также флавоноидов (до 1,1 раза) и пероксидазы (в 1,4 раза) — компонентов ИУК-оксидазной системы контроля. Угнетение биологической активности экзогенного АЗП под влиянием гаптена проявлялось также в снижении индукторной способности лектина, а именно, уменьшении уровня синтезированной в листьях РНК (в 1,3 раза) и эндогенной лектиновой активности (до 1,5 раза). Растения характеризовались более низкой степенью реализации продуктивного потенциала, что проявлялось в формировании элементов структуры урожая, в частности, меньшей массы колоса (на 15%), меньшего количества (на 11%) и массы зерен (на 16%) в колосе по сравнению с растениями, семена которых обработаны АЗП.

Таким образом, гаптен лектина пшеницы за счет связывания с активными центрами АЗП частично угнетает, но не исключает полностью, проявление биоэффектов лектина на растения при экзогенном действии, что является одним из доказательств участия экзогенных лектинов в регуляции роста и развития растений.

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛАСТИД В ОНТОГЕНЕЗЕ МЕЗОФИЛЬНОЙ КЛЕТКИ В ПЕРВОМ ЛИСТЕ ЯЧМЕНЯ****Киселева И.С.***Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия**E-mail: Irina.Kiselyova@usu.ru*

Первый 7-дневный лист ячменя (сорт Луч), растущий за счет базальной меристемы, формирующий пространственный градиент разновозрастных клеток, был использован в качестве модели развития пластид и мезофильной клетки. Девять зон с делящимися, растягивающимися и зрелыми клетками мезофилла были изучены для характеристики формы клеток, их объема, размеров пластид, числа клеток и пластид в единице поверхности листа. Длина этих зон составляла: I и II—по 0,3 см, III—0,5 см, IV—1,0 см, V, VI, VII, VIII, IX—по 1,5–1,6 см. Показано, что изменение объема клетки описывается типичной S-образной кривой. Объем клеток I и II зон мало менялся (I—4,34–0,25 тыс.мкм<sup>3</sup>, II—6,00×0,41 тыс. мкм<sup>3</sup>), начиная с III зоны он резко нарастал, увеличиваясь в III, IV, V зонах почти в 1,5; 3 и 4 раза по сравнению с первой. Объем клеток IV–IX зон менялся лишь в пределах ошибки среднего и составлял в среднем 17 тыс. мкм<sup>3</sup>. Таким образом, анализ кривой роста клеток, их фотографии позволяют определить зоны I и II как меристематические, зоны III и IV—интенсивного растяжения, V и VI—замедленного растяжения, VII, VIII и IX—зоны, образованные завершившими рост клетками. Форма клеток в процессе развития также изменялась: в зонах I и II клетки имели правильную, близкую к изодиаметрической, форму, в них наблюдали митотические фигуры. В III, IV, V зонах клетки приобретали форму неправильного цилиндра или эллипсоида вращения. Дифференцированные клетки (зоны VI–IX) часто имели «ячеистую» форму и состояли из 2–5 «отсеков».

Число пластид в клетке увеличивалось при их переходе от деления к растяжению и дифференцировке от 18 до 50, главным образом, в период клеточного деления и растяжения и достигало максимального значения, когда объем клетки был равен половине от конечного. То есть, увеличение числа хлоропластов в этот период происходило быстрее, чем рост клетки. Объем хлоропласта, напротив, значительно возрастал (от 16 до 122 мкм<sup>3</sup>) после достижения клеткой конечного объема. Это отлично от развития листа двудольных растений, который характеризуется синхронным ростом хлоропласта и клетки. Таким образом, в процессе развития клетки наблюдали значительное увеличение пластидной массы (% от объема клетки) от 0,9% в делящейся клетке до 30% в зрелой клетке. Число клеток и хлоропластов в единице поверхности от основания листа к его верхушке уменьшались, главным образом, за счет увеличения размеров клеток по мере их развития и более рыхлой структуры мезофилла в полностью дифференцированной части листа.

## УЧАСТИЕ АУКСИНА В ПОЛЯРИЗАЦИИ ИОННОГО ТРАНСПОРТА И АКТИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА ПЕТУНИИ

**Ковалева Л.В., Захарова Е.В., Воронков А.С., Минкина Ю.В., Андреев И.М.**

*Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия,  
E-mail: kovaleva\_l@mail.ru*

Полярный рост пыльцевой трубки характеризуется апикальным транспортом мембранных везикул и сфокусированным в направлении роста цитозольным градиентом ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ . Полярное распределение ионных каналов, детерминирующее направление роста пыльцевой трубки, во многом предопределяется ориентацией цитоскелета, который является важнейшей поляризующей структурой, осуществляющей пространственную ориентацию и координацию различных процессов. В этом исследовании установлено, что актиновый цитоскелет мужского гаметофита петунии опосредованно участвует в действии фитогормонов на прорастание пыльцевых зерен и рост пыльцевых трубок. Показано, что *in vitro* рост мужского гаметофита, а также структура его актинового цитоскелета чувствительны к действию экзогенных фитогормонов; стимулирующий эффект ИУК, АБК и ГК на рост пыльцевой трубки сопровождался увеличением общего содержания F-актина (ИУК, этилен) или перераспределением его в апикальную зону (АБК и ГК), в то время как ингибирующий эффект кинетина на рост пыльцевых трубок сопровождался снижением до 40% общего количества актиновых филаментов. Цитохалазин Д и латрункулин Б, нарушающие динамику актиновых микрофиламентов, приводили к нарушению формы пыльцевой трубки и остановке ее роста. Ингибирование роста мужского гаметофита на среде в присутствии латрункулина Б, обусловленное нарушением citoархитектуры его цитоскелета, сопровождалось снижением содержания ИУК (до нуля). Показано, что гормон-индуцированные изменения в организации цитоскелета сопряжены со стимуляцией фитогормонами (ИУК, АБК, ГК) активности  $\text{H}^+$ -АТФазы, функционирующей в плазматической мембране мужского гаметофита и опосредованной поступлением ионов  $\text{Ca}^{2+}$  из внеклеточной среды и генерацией АФК, вероятно, обусловленной активностью НАДФН-оксидазы. Выявленные нами ранее корреляции в содержании ИУК и флавонолов в процессе развития, прорастания и роста мужского гаметофита петунии позволили предположить, что флавонолы могут быть эндогенными регуляторами транспорта ИУК. В 2012 году группа авторов сообщила о том, что в пыльце Арабидопсиса выявлен белок из *PIN*—семейства (*PIN8*) и предполагают, что он включается во внутриклеточный гомеостаз ауксина в мужском гаметофите. Таким образом, получено достаточно данных, позволяющих говорить о том, что ИУК принимает участие в регуляции полярного роста мужского гаметофита, тогда как роль других фитогормонов требует дальнейшего изучения.



**ИЗУЧЕНИЕ ГОРМОНАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ КЛУБНЕОБРАЗОВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ  
(*SOLANUM TUBEROSUM* L.)****Колачевская О.О.<sup>1</sup>, Сергеева Л.И.<sup>1</sup>, Алексева В.В.<sup>2</sup>, Ломин С.Н.<sup>1</sup>, Бурьянов Я.И.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Институт физиологии растений РАН, 127276 Москва, Ботаническая 35<sup>2</sup>Филиал Института биоорганической химии РАН, Россия, 142290 Пущино

E-mail: gar@ippras.ru

Результаты предшествующих работ нашей лаборатории (Romanov et al., 2000; Аксенова и др., 2000) показали, что ауксин, цитокинины и гиббереллины заметно влияют на процесс клубнеобразования. Для изучения механизмов их действия растения картофеля сорта Дезире трансформировали геном биосинтеза ауксина (*tms1*) и генами, повышающими (*GA3ox3*), (*GA20ox1*) или понижающими (*GA2ox1*) уровень гиббереллинов, под контролем клубнеспецифичного В33 промотора гена пататина. Полученные линии были проверены методом ПЦР на наличие целевого гена с промотором В33. Для исследований отобраны линии, имеющие незначительные фенотипические отличия от контрольных. В экспериментах сравнивали способность растений к образованию клубней *in vitro* на средах с различным содержанием (3, 5, 8%) сахарозы. Линии А1-2 и А4-8 трансформантов по гену *tms1* отличались от контрольных растений: при всех условиях выращивания трансформанты начинали формировать клубни раньше и урожай был выше при различном содержании сахарозы в среде. Измерение содержания эндогенных фитогормонов методом хроматографической масс-спектрометрии (UPLC-MS/MS) показало, что в клубнях этих линий содержание свободной и связанной ИУК было в 1.5-2.9 раза выше, чем в контрольных растениях. Содержание жасмоновой кислоты в клубнях трансформантов также превосходило контрольные растения в 1.3-2.2 раза, а в побегах было снижено. Среди трансформантов с генами биосинтеза гиббереллинов выделялись растения с геном *GA20ox1*: их клубни появлялись только на 6-й неделе культивирования и уступали контролю как по числу, так и по весу. Измерение содержания эндогенных фитогормонов показало, что в линии *GA20ox1* содержание гиббереллина GA1, как и ожидалось, значительно повышено, особенно в клубнях. Это, вероятно, является причиной того, что растения данной линии образуют многочисленные столоны, но неохотно переходят к образованию клубней. Растения *GA20ox8* показали также резкое повышение уровня жасмоновой кислоты и ещё более резкое повышение уровня ауксинов как в клубнях, так и в побегах. Полученные результаты позволяют предположить, что изменения в процессе клубнеобразования у полученных трансгенных линий связаны с их изменённым гормональным статусом, причём изменения содержания одних гормонов затрагивают биосинтез или накопление других.

Работа поддержана грантами РФФИ (10-04-00638) и Центра биосистемной геномики (Нидерланды).



## **ВЛИЯНИЕ КАРБОНИЛ-ЦИАНИД-М-ХЛОР-ФЕНИЛГИДРАЗОНА (КЦХФ) НА УРОВЕНЬ ЦИТОКИНИНОВ В КСИЛЕМНОМ СОКЕ И ИХ НАКОПЛЕНИЕ В ПОБЕГЕ И КОРНЯХ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ**

**Коробова А.В.<sup>1</sup>, Ахиярова Г.Р.<sup>1</sup>, Медведев С.С.<sup>2</sup>, Веселов С.Ю.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Институт биологии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа, Россия*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский Государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup>*Башкирский государственный университет, г. Уфа, Россия*

*E-mail: muksin@mail.ru*

По данным литературы, протонофор КЦХФ ингибирует поглощение аденина и зеатина клетками при их культивировании *in vitro* в виде суспензии. Однако не было изучено влияние этого ингибитора вторично активного транспорта на накопление и распределение цитокининов в тканях интактных растений. Наша работа была направлена на восполнение этого пробела.

Корни семисуточных растений пшеницы погружали на 1 час в среду с  $4.0 \cdot 10^{-7}$  М зеатином (10 растений на 100 мл среды). К половине контейнеров также добавляли КЦХФ до конечной концентрации 10 мкМ. Иммуноферментный анализ проводили с использованием антител, специфичных к цитокининам зеатинового типа, после разделения свободного зеатина и его рибозида с помощью тонкослойной хроматографии. Для иммуногистохимической локализации цитокининов на срезах корней, в которых зеатин был фиксирован с помощью глутарового альдегида, использовали те же антитела, связывание которых при световой микроскопии выявляли с помощью вторых антител, меченных коллоидным золотом, и серебряного усилителя.

Показано, что у обработанных экзогенным зеатином растений цитокинины накапливались, в основном, в корнях, где их концентрация возрастала на порядок (в побегах — лишь в 2 раза). Применение иммуногистохимического подхода позволило выявить накопление цитокининов внутри клеток центрального цилиндра обработанных зеатином растений.

Ингибирование вторично активного транспорта с помощью КЦХФ уменьшало убыль зеатина из питательной среды (с 24 до 11% от исходной концентрации), что указывает на подавление поглощения зеатина корнями под влиянием этого протонофора. У обработанных зеатином растений возрастала концентрация цитокининов в ксилемном соке; под воздействием ингибитора она также увеличивалась примерно вдвое как на фоне экзогенного гормона, так и без него (с 4 до 8 и с 8 до 20 нг/мл в случае необработанных и обработанных зеатином растений, соответственно). При этом уровень накопления цитокининов в корнях обработанных протонофором растений снижался, а в побегах — возрастал. Ранее мы высказывали предположение, что накопление цитокининов в корнях растений, обработанных зеатином, и их слабый отток в побег может объясняться активным поглощением зеатина клетками корней. Данные опытов с КЦХФ свидетельствуют в пользу этого предположения.

**ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКОГО СТРИГОЛАКТОНА GR24 НА РОСТ ПАЗУШНЫХ ПОЧЕК И ЭКСПОРТ ИУК У ПРОРОСТКОВ ГОРОХА****Котова Л.М., Котов А.А.***Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия**E-mail: kotov\_andrei-62@mail.ru*

Пазушные почки семенных растений, являясь запасными меристемам, обычно находятся в покоем состоянии, которое, как полагают, поддерживается ауксином, транспортирующимся базипетально из верхушечной почки. Ауксин не проникает в почки, действуя опосредованно. В 2008 г был обнаружен предположительный мобильный интермедиат действия ауксина, каротиноидное производное, относящееся к стриголактонам (*SL*) — классу терпеноидных лактонов. На настоящий момент в литературе существует два предположительных способа действия *SL*. В первом случае влияние *SL* прямое и происходит при его проникновении в почку по ксилеме. Данная точка зрения была подтверждена с помощью точечного нанесения синтетического *SL* — *GR24* на почку в пазухе 4-го листа проростков гороха сорта Torsdag: *GR24* поддерживал покой почки после декапитации проростка. Второй предположительный механизм не прямой и не требует непосредственного проникновения *SL* в почку, поскольку основан на способности *SL* снижать количество ауксиновых белков-транспортеров в стебле, уменьшая его ауксин-пропускную способность и тем самым создавая между главной и латеральными почками конкуренцию потоков ИУК, напрямую связанных с активностью почек.

Цель нашей работы состояла в тестировании этих двух взаимоисключающих предположений. Для проверки прямого действия *SL* в качестве модельного объекта были выбраны 1-я и 2-я пазушные почки 7-10 дневных проростков гороха сорта Torsdag и его *SL*-дефицитной мутантной линии *rms2*. Обе почки у *rms2*, в отличие от *WT*, не являлись покоящимися и их рост полностью подавлялся раствором 5 мкМ *GR24* как при его внутриксилемном введении по хлопковой нити в прокол гипокоты или 1-го междоузлия, так и при непосредственном нанесении на сами почки. Декапитация растений *rms2* на 7-й день усиливала темп роста почек в 2-3 раза и в этом случае аналогичные обработки 5 мкМ *GR24* не оказывали на него существенного влияния, снижая темп отрастания не более чем на 20%. У проростков *WT* предварительная обработка 1-й и 2-й почек раствором 5 мкМ *GR24* не оказывала влияния на выход их из покоя и отрастание после декапитации растений.

Участие *SL* во взаимодействии побегов на одном растении на уровне экспорта из них ИУК было протестировано на двухпобеговых проростках: после удаления эпикотыла формировалось растение с 2-мя отрастающими расторможенными побегами из пазух семядолей. На 7-й день у половины растений удаляли один из побегов и через 2 дня (9-й день) между группой одно- и двухпобеговых проростков проводили сравнение экспорта ИУК из побега, для чего его срезали, инкубировали 2 часа в дист. воде и в полученном диффузате проводили методом ELISA определение транспортируемой ИУК. В проростках сорта Torsdag интенсивность экспорта ИУК из побега в варианте двухпобеговых проростков была

в 2 раза ниже, чем у проростков с одним оставленным побегом. Неожиданным явилось то, что аналогичное поведение экспорта ИУК из побега наблюдалась и в случае *SL*-дефицитной мутантной линии *rms2*, *rms1* и в *SL*—нечувствительной линии *rms4*. Внутриксилемное введение в гипокотиль двухпобеговых проростков *rms2* растворов 0.01–10 мкМ *GR24* ингибировало экспорт ИУК из побега в концентрации выше 1 мкМ. Подавление экспорта ИУК происходило одинаково как в двухпобеговом варианте, так и в однопобеговом, что отрицает предложенный в литературе сценарий действия *SL* непрямым способом по механизму *SL*-усиливаемой конкуренции ауксиновых потоков, поскольку не зависит от *SL*.

Таким образом, полученные результаты отрицают действие *SL* по предполагаемому непрямому варианту конкуренции ауксиновых потоков, однако в варианте прямого действия роль *SL* в обеспечении покоя пазушных почек неоднозначна и его эффект может быть нивелирован дополнительным фактором, контролируемым главным побегом.

### **ДЕЙСТВИЕ ФУЛЛЕРЕНОЛА D НА РОСТ И БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ В БЛАГОПРИЯТНЫХ И СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЯХ**

**Ктиорова И.Н.<sup>1</sup>, Скобелева О.В.<sup>1</sup>, Панова Г.Г.<sup>1</sup>, Семенов К.Н.<sup>2</sup>, Чарыков Н.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ГНУ АФИ Россельхозакадемии, Санкт-Петербург, Россия,

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия,

<sup>3</sup> Закрытое акционерное общество “Инновации ленинградских институтов и предприятий” (ЗАОИЛИП), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: ktitorov@mail.ioffe.ru

Фуллеренол d (Фd)—полигидроксиллированная водорастворимая производная фуллереина, представляющего собой недавно открытую модификацию углерода с замкнутой полициклической молекулярной структурой. Условная молекулярная масса Фd—1128 а.е. отвечает условной формуле  $C_{60}(OH)_{24}$ . Известные химические и физические свойства Фd позволяют предполагать его биологическую активность в клетках животных и растений, однако исследования влияния Фd на рост и развитие растений только начинаются и получены единичные результаты. Цель настоящей работы—исследование влияния растворов Фd на развитие проростков ячменя в благоприятных и стрессовых условиях, анализ причин изменения скорости роста корней на основе оценки биофизических параметров, от которых непосредственно зависит рост растяжением: растяжимости клеточных стенок и внутрикорневого осмотического давления. За сутки экспозиции корней 5–7 дневных проростков в присутствии Фd скорость роста корней увеличивалась на 20–25% относительно контроля при концентрации Фd 7–150 мг/л и снижалась на 40% в присутствии 1.1 г/л Фd. Рост побегов не ускорялся, по-видимому, из-за преимущественного поступления Фd в корни и более быстрой реакции на него корней. Причинами ускорения роста корней в присутствии Фd были увеличение продольной растяжимости корней в зоне роста на 20% от контроля и рост внутрикорневого осмотического давления, а причиной торможения роста корней при 1.1 г/л Фd—снижение их продольной растяжимости. При УФ-Б

индуцированном стрессе экспозиция корней в растворе 14 мг/л Фd снижала уровень их повреждения, оцениваемый по степени торможения роста, изменению биофизических параметров и флуоресценции индикатора активных форм кислорода — дихлорофлуоресцеина. Причинами ускорения роста корней под действием Фd, помимо его антиоксидантного действия, могло быть внедрение Фd в структуру клеточных стенок и мембран, приводящее к увеличению растяжимости клеточных стенок, а также усиление транспорта нитрата, который предположительно может транспортироваться в котранспорте с липофильными катионами Фd. Последнее может быть одной из причин роста внутрикорневого осмотического давления в присутствии Фd. Другой причиной может быть накопление в клетках Фd или продуктов его деградации, которая к настоящему времени показана только на грибах. Увеличение концентрации Фd до 1,1 г/л вызывало торможение роста корней и побегов ячменя которое может быть связано с проявлением прооксидантных свойств Фd при повышении его содержания в зонах роста. Подобная инверсия эффекта от антиоксидантного к прооксидантному. по мере увеличения концентрации Фd в среде, была отмечена в литературе, в опытах на культуре клеток гиппокампа крыс.

### **ВЗАИМОСВЯЗЬ СИМБИОТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГОРОХА С СОСТАВОМ КОРНЕВЫХ ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ**

**Кузмичева Ю.В.<sup>1</sup>, Шапошников А.И.<sup>2</sup>, Азарова Т.С.<sup>2</sup>, Петрова С.Н.<sup>1</sup>, Наумкина Т.С.<sup>3</sup>,  
Борисов А.Ю.<sup>2</sup>, Белимов А.А.<sup>2</sup>, Кравченко Л.В.<sup>2</sup>, Парахин Н.В.<sup>1</sup>, Тихонович И.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Орловский государственный аграрный Университет», Орел, Россия*

<sup>2</sup>*Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии Россельхозакадемии, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup>*Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт зернобобовых и крупяных культур Россельхозакадемии, Орел, Россия*  
*E-mail: juliemons@yandex.ru*

Основными группами низкомолекулярных органических веществ, выделяемых корнями растений в ризосферу, являются органические кислоты, сахара и аминокислоты. Эти экзометаболиты служат легкодоступными источниками питания для микроорганизмов, которые образуют трофические связи и высокоспециализированные симбиозы с растениями. Варьирование состава корневых экзометаболитов обуславливает структуру микробных сообществ ризосферы, а также характер и интенсивность воздействия микроорганизмов на растения. Однако экокхимические ризосферные процессы и механизмы их регуляции остаются малоизученными. Необходимо глубже понять значение различных групп и отдельных компонентов корневых экзометаболитов в регуляции взаимодействий растений и микроорганизмов.

Наша работа посвящена изучению качественного и количественного состава органических кислот, сахаров и аминокислот экзометаболитов сорта гороха с высоким симбиотическим потенциалом Триумф и его родительских форм—примитивного высокосимбиотрофного сорта к-8274 и современного высокопродуктивного сорта Classic. Для этого семена поверхностно стерилизовали и растения выращивали в течение 7 суток в стерильных условиях гидропонной культуры по специально разработанной методике. Состав корневых экзометаболитов определяли методами жидкостной хроматографии с использованием систем UPLC ACQUITY H-класса (Waters, США) и HPLC Jasco LC-900 (Jasco, Япония). У сорта Триумф количественный состав фракции органических кислот был близок к сорту к-8274, а состав фракций сахаров и аминокислот—к сорту Classic. Экзометаболиты сорта Триумф имели большее сходство с экзометаболитами сорта к-8274 по количественному соотношению изучаемых групп соединений. Результаты исследований позволили предположить, что сорт Триумф унаследовал от сорта к-8274 высокую экссудацию пировиноградной и янтарной кислот, которые были в числе основных компонентов корневых экзометаболитов у обоих сортов. Однако в целом сорт Триумф обладал пониженной экссудацией органических кислот и аминокислот по сравнению с сортом к-8274. Результаты полевого опыта по сравнительной оценке эффективности инокуляции изучаемых сортов гороха клубеньковыми бактериями и грибами арбускулярной микоризы подтвердили высокий симбиотический потенциал сорта Триумф. Таким образом, впервые проведен анализ взаимосвязей между корневой экссудацией и степенью симбиотрофности близкородственных сортов растений.

Работа поддержана грантами РФФИ 12-04-90858-мол\_рф\_нр и 12-04-01501-а.

## **РЕГУЛЯЦИЯ СЕЛЕНОЗАВИСИМОГО РОСТА И РАЗВИТИЯ *ARABIDOPSIS THALIANA* БРАССИНОСТЕРОИДАМИ И СЕЛЕКТИВНЫМ СВЕТОМ**

**Кулагина Ю.М., Крахалева А.В., Головацкая И.Ф.**

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия  
E-mail: golovatskaya.irina@mail.ru*

Известно, что свет играет не только энергетическую, но и регуляторную роль в растении, изменяя интенсивность и локализацию его ростовых процессов через взаимодействие с фоторецепторами. Среди эндогенных регуляторов особое место занимают брассиностероиды (БР), участвующие в качестве посредников светового сигнала в реализации программы ското- и фотоморфогенеза растений. В связи с эссенциальностью селена для организма человека в настоящее время активно изучается и его функциональная роль в растении. Поднимается вопрос об использовании селеновых удобрений и обогащении этим элементом растений. Однако до сих пор не изучено влияние селективного света на селенозависимые реакции растений и возможности одновременного участия в этих процессах БР.

Нами было изучено влияние селективного света и предпосевной обработки селенита натрия на рост и развитие, и пигментный состав листьев растений *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. экотипа Columbia, различающихся по эндогенному уровню БР—исходная линия Col и его дефицитный по БР мутант *det2*.

Дефицит БР у мутанта обуславливал его карликовый фенотип в процессе всего онтогенеза в почвенной культуре. Действие синего (СС) и красного (КС) света изменяло габитус и продолжительность вегетативного и репродуктивного развития растений. СС, ускоряя развитие растений, в большей степени увеличивал ветвление побега, количество ярусов и биомассу по сравнению с КС.

Обработка селеном повышала эффективность КС, увеличивая длину и биомассу побега и его ветвление, а также площадь листьев. Снижение биомассы листьев розетки Col на СС в присутствии селена было связано с их утратой в процессе более быстрого развития. Дефицит БР снижал эффект селена у *det2*.

Действие селективного света проявлялось и в изменении содержания фотосинтетических пигментов. КС увеличивал синтез хлорофиллов и каротиноидов, поскольку их уровень повышался в расчете на лист. Действие селенит-иона увеличивало содержание пигментов в листьях розетки у растений на СС, с преимуществом у мутанта, тогда как на КС происходило их снижение именно у мутанта. Подобный эффект КС мог быть связан с повышением уровня эндогенного селена (Головацкая и др., 2012, приоритет патента 07.12.2010).

Таким образом, в результате исследований было установлено эффективное влияние селективного света на селенозависимый рост и развитие *A. thaliana* и формирование его фотосинтетического аппарата.

Исследования частично поддержаны ФЦП «Кадрь»(№ П283) и Госзаданием Минобрнауки России ВУЗам (№01201256295).

## **ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ САМООРГАНИЗАЦИИ ПОТОКОВ АУКСИНА В РАСТУЩЕМ КЛЕТОЧНОМ ПОЛЕ**

**Кулыгин А.К.<sup>1</sup>, Быкова Е.А.<sup>2</sup>, Лабунская Е.А.<sup>2</sup>, Косенко Я.В.<sup>2</sup>,  
Синюшин А.А.<sup>2</sup>, Чу В.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: choob\_v@mail.ru*

Потоки ауксина являются морфогенетическим фактором, создающим разметку будущей сети жилкования в листе и тяжелой прокамбия в стебле и корне. С пространственным распределением потоков ауксинов также связана митотическая активность, полярность роста клеток, дифференцировка. Для изучения взаимосвязи этих явлений часто используют математические модели. Большинство из современных моделей не учитывает процессы

взаимной регуляции, присущие растительному организму. Так, часто самоорганизация потока ауксина исследуется в статичном (не растущем) объекте. Или процесс роста не связывают с действием потока ауксина и задают в моделях отдельно, что противоречит физиологической сути явления. Таким образом, существует потребность в модели, которая генерирует клеточные деления разной ориентации, создавая пространственное поле из клеток, и путем самоорганизации возникают потоки ауксина, регулирующие рост и дифференцировку. В разрабатываемой нами модели постулировано, что синтез ауксина зависит от размеров клетки, каждая клетка полярно транспортирует ауксин, причем направление транспорта зависит от интенсивности потоков ауксинов в соседних клетках. Часть ауксина разрушается по мере транспорта. Растяжение клеток определяется вектором потока ауксина через клетку, а деление — достижением критического размера (площади в 2D или объема в 3D-модели). Введены постулаты, обеспечивающие симпластический рост, а также возможность переориентации потоков ауксина исходя из локальных факторов на каждом этапе. На данный момент создан алгоритм, который управляет ростом и делением в клеточном поле по заданным правилам. В результате моделирования установлено, что самоорганизация потоков ауксина возможна на основании геометрических факторов. Канализация потока наблюдается в клетках вытянутой формы, которые в дальнейшем переориентируют потоки соседних клеток на себя. Этот геометрический фактор самоорганизации нами выявлен впервые. Модель предсказывает, что при симпластическом росте по заданным правилам отдельные клетки подвергаются сильному сжатию из-за усиленного роста соседних клеток, что может приводить к сильным деформациям или даже гибели части клеток в процессе роста. Предлагаемый подход перспективен для изучения роста и дифференцировки тканей в примордиях листьев, моделирования пространственной организации апикальных меристем побегов, других растущих клеточных систем растений. В рамках разрабатываемой модели возможно изучение других регуляторов (цитокининов, факторов транскрипции, РНК и др.).

## **ОСОБЕННОСТИ КЛЕТОЧНОГО НАСЛЕДОВАНИЯ СПОСОБНОСТИ К АПОГАМИИ У МХА *TORTULA MODICA* R.H.ZANDER**

**Лобачевская О.В.**

*Институт экологии Карпат НАН Украины, г. Львов, Украина,  
E-mail: morphogenesis@mail.lviv.ua*

Существенно важным в исследовании морфогенеза мхов является то, что апоспорические регенеранты *Tortula modica* и некоторых других видов формируют спорофитные структуры непосредственно из тканей гаметофита, минуя образование гамет и зигот (апогамия). У мхов апогамия встречается в дипло- и в гаплофазе. Данные экспериментального апомиксиса свидетельствуют о том, что способность к апогамии стойко сохраняется при вегетативном размножении в ряде клеточных поколений апоспорического гаметофита, что дает основание связывать это явление с эпигенетическими изменениями, под которыми



подразумевают стойкие, наследуемые на клеточном уровне, изменения генной активности. Показано, что способность к апогамии (детерминированное состояние) стойко сохраняется при вегетативном размножении апоспорических растений и стабильно наследуется клонами, полученными из отдельных клеток протонемы и листьев. Культивирование отдельных частей спорогонов *T. modica* обнаружило онтогенетическую разнокачественность получаемого таким образом апоспорического гаметофита. Ткань стенки спорового мешка, ножки спорогона, экзотеция и крышечки коробочки способна давать начало как неапогамным, так и апогамным клонам. Отсутствие способности к апогамии у клонов свидетельствует о том, что не только в результате спорогенеза, но и задолго до образования спор, происходят решающие события, связанные с переключением развития со спорофитного на гаметофитный путь. Сохранение способности к апогамии, по-видимому, обусловлено стабильными структурно-функциональными изменениями генома. Однако, наличие единичных дерновинки без апогамных структур и отсутствие их при дальнейшем культивировании свидетельствует, что эпигенетические изменения, хотя и стойко наследуются в клеточных поколениях, не являются полностью необратимыми. Для выяснения природы апогамии у мхов использовали и культуры изолированных протопластов, в частности соматической гибридизации протонематических клеток способных и неспособных к передаче апогамии. Установлено, что способность к апогамии практически не зависит от условий культивирования. Однако реализация этой способности, т.е. образование апогамных структур, наоборот, во многом зависит от условий среды и может длительное время не наступать. Результаты проведенных опытов подтверждают ранее высказанное предположение о том, что способность к апогамии в диплофазе обусловлена наличием саморедуплицирующегося внехромосомного фактора, неравномерно распределяющегося в делящихся клетках гаметофита мха.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПОВ ТРАНСДУКЦИИ СИГНАЛА ЦИТОКИНИНА

**Ломин С.Н.<sup>1</sup>, Архипов Д.М.<sup>1</sup>, Стеклов М.Ю.<sup>1</sup>, Леонова О.Г.<sup>2</sup>, Романов Г.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физиологии растений им К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия,*

<sup>2</sup>*Институт молекулярной биологии В.А. Энгельгардта РАН, Москва, Россия*

*E-mail: losn1@yandex.ru*

Цитокинины — одни из важнейших природных регуляторов роста и развития растений с широким спектром действия от активации деления клеток до участия в стресс-реакциях. Согласно существующим представлениям, передаче цитокининового сигнала в клетке осуществляет каскад белков двухкомпонентной системы, состоящий из трансмембранных рецепторов — гибридных гистидинкиназ, фосфотрансмиттеров и регуляторов ответа — факторов транскрипции. Недавно было установлено, что подавляющее большинство рецепторов находится на мембранах эндоплазматического ретикулума (ЭР), а не на плазматической мембране, как считалось ранее. Встал вопрос о функциональной роли рецепторов цитокининов в ЭР. В данной работе была исследована субклеточная локализация



взаимодействия рецепторов и фосфотрансмиттеров (АНР) с помощью метода бимолекулярной флуоресцентной комплементации (BiFC). В нашей работе мы получили парные конструкции с генами рецепторов цитокининов *АНК2* и *АНК3* и фосфотрансмиттеров *АНР1*, *АНР2* и *АНР3*, сшитыми с фрагментами ДНК, кодирующими N-концевую (pSPINE) или C-концевую (pSPICE) части флуоресцентного белка YFP. Агробактериальными клонами, несущими данные плазмиды, инокулировали листья табака *Nicotiana benthamiana* для транзientной трансформации с последующей экспрессией генов гибридных белков. Трансформацию проводили парой клонов, несущих гены интересующих нас белков с комплементарными частями YFP. Через пять дней после инокуляции локализация взаимодействия белков изучалась при помощи конфокальной микроскопии. Картина флуоресценции при димеризации рецепторов и фосфотрансмиттеров соответствовала сети, характерной для ЭР. Также сигнал наблюдался вокруг ядер, что, по-видимому, обусловлено ЭР, связанным с наружной мембраной ядра. Данное распределение соответствует ЭР-локализации рецепторов, в том числе определенной методом BiFC. При этом рецепторы обладали некоторой специфичностью во взаимодействии с фосфотрансмиттерами. *АНК2* взаимодействовал со всеми исследованными АНР, а *АНК3* — только с *АНР1*. Сами фосфотрансмиттеры также были способны образовывать гомодимеры, но картина их распределения в клетке сильно отличалась от описанной выше. Сигнал наблюдался в цитоплазме и в ядре, но не в ЭР или ядрышке. Тем самым, данные, полученные в нашей работе, согласуются с гипотезой об иницировании передачи цитокининового сигнала в клетке преимущественно в ЭР. Роль димеризации фосфотрансмиттеров для их функционирования на данный момент не известна.

Работа поддержана грантами РФФИ 12-04-33282 и 11-04-00614

## РЕГУЛЯЦИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ СТЕРОИДНЫМИ ГЛИКОЗИДАМИ

**Максимовских С.Ю.<sup>1</sup>, Голощапов А.П.<sup>2</sup>, Кинтя П.К.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Территориальный государственный экологический*

*фонд Курганской области, Курган, Россия*

*E-mail: mak-su@bk.ru*

<sup>2</sup>*Курганская государственная сельскохозяйственная академия*

*им. Т.С. Мальцева, Курган, Россия*

<sup>3</sup>*Институт генетики и физиологии растений АН РМ, Кишинев, Молдова*

Обеспечение оптимальных условий жизнедеятельности растения с помощью биорегуляторов представляет одно из важнейших направлений исследований в физиологии растений. В последние годы значительный научный и практический интерес представляют исследования влияния натуральных биологически активных соединений на растения. Целью нашей работы — изучение действия препаратов группы стероидных гликозидов природного происхождения на рост, развитие и продуктивность растений. В течение нескольких лет изучали различные биотипы и виды сельскохозяйственных растений: *Medicago*

*sativa*, *Triticum aestivum*, *Hordeum sativum*, *Zea mays*, *Solanum tuberosum*. В различные фазы развития растения опрыскивали растворами стероидных гликозидов (томатозид, туберозид, пурпуреагитозид, никотинозид, капсикозид) выделенных из растений родов *Capsicum*, *Solanum*, *Nicotianum*, *Lycopersicum*. Рост и развитие растений, параметры фотосинтетической продуктивности учитывали во время всей вегетации. Была выявлена высокая отзывчивость растений на экзогенное применение биорегуляторов стероидной природы. Опытные растения отличались более высокими показателями роста и развития, вегетационной массы листьев, листового индекса, фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза. Обработка препаратами группы стероидные гликозиды повышает генеративное размножение растений, увеличивает завязываемость плодов и семян. Отмечено, что данные соединения способны устранять отрицательное действие абиотического стрессового фактора — засухи во время вегетационного периода растений. Таким образом, стресс-протекторная функция и защитно-стимулирующий эффект стероидных гликозидов обусловлены участием их в синтезе и распаде эндогенных регуляторов роста растений, что приводит к изменению гормонального баланса и способствует более полной реализации репродуктивного и адаптивного потенциала растительного организма. Данные препараты группы стероидных гликозидов имеют пролонгированное время действия, что может охарактеризовать их как природные адаптогены.

## **ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИБРАССИНОЛИДА НА ГОРМОНАЛЬНЫЙ ОБМЕН РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ В ПАТОГЕНЕЗЕ СЕТЧАТОЙ ПЯТНИСТОСТЬЮ**

**Н.Е. Манжелесова**

*Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича*

*НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*E-mail: patphysio@mail.ru*

Цель исследований — изучить возможность влияния 24-эпибрассинолида (ЭБ) на формирование патосистемы ячмень — возбудитель сетчатого гельминтоспориоза посредством изменения гормонального статуса растения-хозяина. Для количественного определения ИУК и АБК использовался метод иммуноферментного анализа. Показано, что инфицирование растений ячменя приводило к снижению содержания ИУК почти вдвое на 2-е сутки после инокуляции спорами патогена (инкубационный период), тогда как содержание АБК в этот период было повышенным на 40%. На стадии видимых симптомов болезни (6-е сутки после инокуляции) содержание АБК относительно здорового контроля оставалось повышенным в той же степени, что и в начале патогенеза, а вот содержание ИУК возросло довольно значительно (почти в 5 раз). Литературные данные по биологии развития гриба и динамике продуцирования им ауксинов дают основание полагать, что причиной изменения содержания ИУК в инфицированных тканях растений является изменение ауксинового обмена растения-хозяина. Обработка здоровых растений ЭБ приводила к трехкратному повышению содержания ИУК уже через сутки. Предобработка растений ЭБ с последующей

инокуляцией спорами приводила к максимальному содержанию ИУК в листьях вплоть до 6 суток развития инфекции. Выявлено, что причиной этого является ингибирование активности ОИУК. Следует отметить, что визуальной предобработка растений ЭБ снижала интенсивность развития сетчатого гельминтоспориоза. Предполагается, что вызванное обработкой ЭБ увеличение содержания ИУК в клетках листьев растений ячменя, препятствует их некротизации, активируя метаболизм, замедляя процессы распада биополимеров. В клетке обеспечиваются условия, неблагоприятные для питания некротрофного патогена, замедляется его развитие, ослабляется течение инфекционного процесса. Кроме того, известно, что гены, индуцируемые жасмонатами (группа растительных гормонов, оказывающих защитное действие при болезнях, вызываемых насекомыми и заражениях болезнями), практически идентичны генам, которые активируются ауксинами в том же растении. Таким образом, возможна ИУК-зависимая регуляция этих генов 24-эпибрассинолидом. Что касается содержания АБК, то обработка здоровых растений ЭБ не оказывала влияния на содержание гормона, тогда как на инфекционном фоне наблюдалось существенное (практически втрое), но кратковременное увеличение содержания АБК. Это может указывать на возможность переключения метаболизма питающего растения в направлении синтеза PR-белков. Однако в литературе имеются сведения об АБК-независимой регуляции PR-1 пшеницы ЭБ. Вопрос требует обсуждения.

## ГРАВИТРОПИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

С.С. Медведев

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург*

*E-mail: ssmedvedev@mail.ru*

Наиболее выраженным поляризованным внешним фактором является гравитация, поскольку направление и величина гравитационного стимула в каждой конкретной точке пространства практически не изменяются в течение всего развития растительного организма. Поэтому естественно, что растения сформировали тонкие механизмы, благодаря которым они могут контролировать и корректировать положение своего тела относительно вектора силы тяжести, создавая новые оси полярности.

Уже на самых ранних стадиях гравитропической реакции регистрируется электрическая поляризация, происходит перестройка цитоскелета, формируются латеральные градиенты ауксина и кальция. Практически через 10 мин после изменения положения в пространстве растительного органа формируется новая физиологическая ось симметрии в соответствии с направлением вектора силы тяжести. При гравистимуляции (отклонении от вектора силы тяжести) у корней возникают направленные к их нижней части латеральные потоки ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и фитогормона ИУК. У надземных осевых органов в ходе гравитропической реакции растений также появляются латеральные потоки ИУК и ионов кальция, однако при этом происходит накопление ауксина в нижней, а ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в верхней половине гравистимулированных тканей.

Ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и играют центральную роль во всех трех фазах гравитропизма — перцепции, трансдукции и ответной ростовой реакции. При изменении положения осевого органа в пространстве отмечается очень быстрое повышение концентрации цитоплазматического кальция и активация  $\text{Ca}$ -зависимых процессов в клетке. Увеличение концентрации цитозольного кальция происходит локально, только в тех участках клетки, где наблюдается контакт мембранных структур с седиментирующими частицами или механическое напряжение. Именно это способствует появлению полярного (латерального) потока ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , который несет информацию о направлении вектора силы тяжести. Возникновение латеральных потоков ионов  $\text{Ca}^{2+}$  является, по-видимому, одним из наиболее ранних процессов при гравитропизме, который предшествует латеральному перераспределению ауксина. Полярный поток кальция в растущей ткани постоянно ориентируется параллельно вектору силы тяжести и корректирует направление потока ауксина, задавая, таким образом, направление роста растительным клеткам и органам.

Работа поддержана грантом РФФИ 11-04-00701.

## **РОСТ, РАЗВИТИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ К ГИПОКСИИ ТРАНСГЕННЫХ ПО ГЕНУ ФИТАСПАЗЫ РАСТЕНИЙ *NICOTIANA TABACUM***

**Миляева Э.Л., Полякова Л.И., Вартапетян А.Б.<sup>1</sup>, Чичкова Н.В.<sup>1</sup>, Вартапетян Б.Б.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва Россия*

*<sup>1</sup>НИИ физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского Московского*

*государственного университета имени М.В.Ломоносова, Москва*

*E-mail: e\_milyaeva@mail.ru*

Одним из недавно открытых ферментов, участвующих в осуществлении программной смерти клеток у растений, является апоптотическая протеаза — фитаспаза. Как выясняется, фитаспаза также играет важную роль в жизненном цикле растений, участвуя во многих процессах вегетативного роста и репродуктивного развития, а также в процессах адаптации растений к неблагоприятным факторам внешней среды.

Объектом наших исследований были трансгенные по гену фитаспазы растения табака (*Nicotiana tabacum* Samsun NN), у которых активность этого фермента трехкратно превышала активность, наблюдаемую у растений дикого типа. Трансгенные растения были получены путем введения в геном полноразмерной кДНК фитаспазы табака под контролем 35S промотора. Уровень активности фитаспазы определяли в экстрактах листьев по способности фермента специфично гидролизовать флуоресцентный пептидный субстрат.

В ходе изучения основных этапов онтогенеза трансгенных растений и растений дикого типа были выявлены некоторые различия. Процент прорастания семян у трансгенных растений с повышенной активностью фитаспазы оказался в 2 раза выше, чем у растений дикого типа. В течение первых двух месяцев после прорастания скорость роста проростков трансгенных растений также в 2 раза превышала скорость роста проростков дикого типа,

однако в дальнейшем статистически достоверных различий в скорости роста растений обнаружено не было. Способность к ризогенезу у черенков трансгенных растений с повышенной активностью фитаспазы была в несколько раз выше, чем у черенков растений дикого типа

Опыты по определению устойчивости к гипоксии в условиях затопления корней выявили повышенную толерантность к корневому затоплению у трансгенных растений по сравнению с растениями дикого типа. Анатомическое изучение поперечных срезов корней после 2-х суток затопления показало заметное увеличение общей площади аэренхимы у трансгенных растений по сравнению с растениями дикого типа, что, вероятно, и привело к повышению устойчивости к гипоксии трансгенных растений.

### **К ВОПРОСУ О ГОРМОНАЛЬНОЙ РЕГУЛЯЦИИ ПЕРЕХОДА К ЦВЕТЕНИЮ РАСТЕНИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* С ИНСЕРЦИЕЙ В ГЕНЕ *CONSTANS***

**Миляева Э.Л., Ложникова В.Н.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: e\_milyaeva@mail.ru*

Важнейшим этапом в жизни растений является переход к цветению. Поэтому в течение многих десятилетий углубленное и тщательное изучение механизмов этого процесса занимает значительное место в физиологии растений. Молекулярными генетиками были выявлены и клонированы гены, ответственные за переход растения к цветению. Было показано, что основным геном фотопериодической реакции, определяющей переход растений к цветению, является ген *CONSTANS (CO)* и его гомологи, например, *CONSTANS LIKE 1 (COL 1)*.

В наших опытах были использованы факультативно длиннодневные растения *Arabidopsis thaliana* расы *Columbia* дикого типа и два инсерционных мутанта по гену *COL 1*. Семена были получены из банка Nottingham Arabidopsis stock center (Англия). Было проведено сравнение темпов роста и скорости перехода к цветению (времени от появления проростков до образования первых бутонов) мутантов и растений дикого типа в условиях длинного дня.

Поскольку в настоящее время вопрос о роли фитогормонов, в частности гиббереллинов в фотопериодической реакции зацветания не совсем ясен, представляло определенный интерес выявить корреляцию между активностью гиббереллина и скоростью перехода к цветению опытных растений.

Было обнаружено, что растения инсерционных мутантов значительно отличались от растений дикого типа по скорости перехода к цветению. Определение активности гиббереллинов в этих растениях также выявили существенные различия. Так, у одного из мутантов, который зацвёл в 2 раза быстрее, чем растения дикого типа, активность гиббереллинов также оказалась в 2 раза выше.

Эти данные свидетельствуют о важной роли фитогормонов, в частности гиббереллина в процессах фотопериодизма, что еще раз подтверждает гормональную теорию зацветания растений акад. М.Х. Чайлахяна.

## **РЕГУЛЯЦИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАССАДЫ БЕЛОКОЧАННОЙ КАПУСТЫ В ЗАЩИЩЕННОМ ГРУНТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛЕНОК РАЗЛИЧНЫХ ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ**

**Минич А.С., Минич И.Б., Пермякова Н.С., Иваницкий А.Е.,  
Школина М.М., Рользинг М.О.**

*Томский государственный педагогический университет, Томск  
E-mail: minich@tspu.edu.ru*

Полимерные пленки широко используются в защищенном грунте как для выращивания растений с получением урожаев, так и для получения рассады цветочных и овощных культур. В качестве укрытий защищенного грунта наибольшее применение нашли немодифицированные и модифицированные полиэтиленовые пленки, а также пленки из других полимеров. Каждая из таких полимерных пленок имеет свои специфические фотофизические свойства, которые при прочих равных условиях определяют световой режим в защищенном грунте.

Целью работы явилось исследование морфогенеза рассады белокочанной капусты (*Brassica oleracea var. capitata* (L.) Pers.) сорта Надежда под полимерными пленками, имеющими различные фотофизические свойства.

В качестве укрытий защищенного грунта использовали флуоресцентную полиэтиленовую, немодифицированную лавсановую и теплоудерживающую лавсановую пленки. Контролем служили растения, выращенные под немодифицированной полиэтиленовой пленкой. Основное отличие фотофизических свойств пленок заключается в различной способности пропускать свет в видимой и ИК областях. Лавсановая пленка пропускает солнечный свет в обеих областях до 97%, теплоудерживающая лавсановая— до 80% видимой и 75% в ИК области, полиэтиленовая— в обеих областях до 91%, флуоресцентная— в обеих областях до 90%. Дополнительно флуоресцентная пленка, за счет содержащегося в ней люминофора, поглощает и преобразует около 1% УФ радиации в красный свет с длиной волны 619 нм.

Исследования проводили на агробиостанции Томского государственного педагогического университета в мае 2011 и 2012 годов. В ходе эксперимента через каждые 7 суток определяли морфометрические показатели растений. Оценку достоверности результатов исследований проводили из трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях минимум на 30 растениях при 95%-ом уровне надежности.

Исследования показали, что морфометрические показатели 30-суточной рассады капусты под флуоресцентной, лавсановой и теплоудерживающей лавсановой пленкой выше, чем под полиэтиленовой. Так, площадь поверхности листьев, сырая и сухая биомасса под флуоресцентной пленкой соответственно выше в 1.48, 1.46 и 1.36 раза, под лавсановой — в 1.60, 1.53 и 1.60 раза, под теплоудерживающей лавсановой — в 1.53, 1.40 и 1.36 раза.

Таким образом, использование флуоресцентной полиэтиленовой, лавсановой и теплоудерживающей лавсановой пленок для регуляции ростовых процессов рассады капусты сорта Надежда является более эффективным.

## **ФЛАВОНОЛЫ В ПРОГАМНОЙ ФАЗЕ ОПОЛОДТВОРЕНИЯ У ПЕТУНИИ**

**Минкина Ю.В.**

*Обнинский институт атомной энергетики Национального  
исследовательского ядерного университета «МИФИ», Обнинск.*

*E-mail: minkina\_yulia@mail.ru*

Согласно литературным данным, совместная локализация Фл и ИУК в различных органах растений может свидетельствовать об участии Фл в регуляции транспорта ИУК. Целью данного исследования была проверка гипотезы о том, могут ли Фл быть эндогенными регуляторами транспорта ИУК в процессе прорастания и роста мужского гаметофита. Для этого определяли динамику содержания ИУК и Фл в прорастающей *in vitro* зрелой пыльце и системе *in vivo* пыльца–пестик петунии двух клонов (самосовместимого и самонесовместимого).

Формирование пыльцевых зерен сопровождалось увеличением содержания ИУК и Фл в развивающихся пыльниках. Зрелый мужской гаметофит и неопыленные пестики содержали одинаковое количество ИУК, но различались по уровню Фл: спорофитные ткани пестика характеризовались в 10 раз более низким содержанием Фл, чем мужской гаметофит. Зрелая пыльца содержала 60–70 нг ИУК/г сырой массы и 20 мг Фл/г сырой массы.

В прорастающих *in vitro* мужских гаметофитах обоих клонов в течение 2 ч культивирования повышается уровень ИУК, а Фл только в течение первого часа. Прорастание мужского гаметофита на воспринимающей поверхности рыльца в течение 1–2 ч, так же как и *in vitro*, сопровождалось постепенным повышением уровней ИУК и Фл. Однако дальнейший рост пыльцевых трубок в тканях рыльца (от 2 до 4 ч после опыления), а затем и в тканях столбика (от 4 до 8 ч после опыления) сопровождался повышением уровня только ИУК при сохранении постоянного уровня Фл.

Экзогенная ИУК в концентрациях  $10^{-10}$ – $10^{-12}$  М стимулировала прорастание пыльцевых трубок в 1.5 раза, при концентрациях  $10^{-6}$ – $10^{-4}$  М проявлялась тенденция к ингибированию их прорастания, а при концентрации  $10^{-3}$  М прорастание пыльцы было полностью подавлено. Кемпферол в низких концентрациях ( $10^{-12}$ – $10^{-8}$  М) стимулировал, а в высоких



( $10^{-4}$ – $10^{-6}$ М) ингибировал прорастание пыльцевых зерен. В концентрации  $10^{-3}$  М оба Фл ингибировали рост пыльцевых трубок на 30 %.

В последние годы появляется все больше данных в пользу представлений о том, что ингибирование транспорта ауксина, так же как и сам его транспорт, является существенным фактором, определяющим распределение фитогормона и, тем самым, обеспечивающим устойчивое состояние растения. Можно предположить, что в исследуемой нами системе Фл блокируют отток ауксина из прорастающего мужского гаметофита, повышая, тем самым, его внутриклеточную концентрацию, что, в свою очередь, способствует полярному росту пыльцевых трубок.

## ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН: ТРАНСПОРТ ВОДЫ И БИОГЕНЕЗ ВАКУОЛЕЙ

**Обручева Н.В., Новикова Г.В., Синькевич И.А., Литягина С.В.**

*Институт физиологии растений РАН, Москва, Россия*

*E-mail obroucheva@mail.ru*

Прорастание семян, в основе которого лежит инициация роста в клетках зародышевой оси, изучено на семенах двух типов — ортодоксальных, т.е. потерявших влагу при созревании до 10% (кормовые бобы *Vicia faba minor*), и рекальцитрантных, т.е. сохранивших при созревании высокую влажность до 62% (конский каштан *Aesculus hippocastanum*). Семена начинают набухать с разных уровней влажности, увеличивают оводненность с разной скоростью и отличаются по биогенезу вакуолей. У семян конского каштана клетки зародышевой оси сохраняют физиологически активные вакуоли, например, активную вакуолярную инвертазу и вакуолярную АТФазу. При поступлении воды такие вакуоли увеличиваются в размерах, что предшествует началу растяжения клеток. Тонoplastы этих клеток сохраняют аквапорины TIR 3;1 и TIR2, синтезированные еще при созревании. Аквапорин TIR3;1, который считают маркером тонoplastа белковых тел, является просто аквапорином тонoplastа вакуолей в созревающих семенах, независимо от их дальнейшего биогенеза. У семян кормовых бобов, в отличие от семян конского каштана, в гипокотиле нет вакуолей как таковых; при набухании вакуоли реставрируются из белковых тел и также увеличиваются в объеме до инициации роста. В их тонoplastах разрушается аквапорин TIR3;1 (в данном случае маркер белковых тел), но усиливается экспрессия генов TIR1;1, TIR2;1 и TIR2;2, что связано с появлением *de novo* образованных вакуолей из провакуолей (лагун эндоплазматического ретикулума) в клетках корня, образовавшихся после начала прорастания. До прорастания водные каналы остаются закрытыми у обоих типов семян. Когда после инициации роста растяжение клеток усиливается и ускоряется поступление воды в растущие клетки, усиливается экспрессия генов аквапоринов тонoplastа TIR1 и TIR2, характерных для вакуолизированных клеток, и происходит открытие водных каналов, что обеспечивает интенсивный рост семян обоих типов при прорастании.



## **РОСТ И ПОКАЗАТЕЛИ АНАБОЛИЗМА РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ НА РАННИХ ЭТАПАХ РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ**

**Омельченко А.В., Кабузенко С.Н.**

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина  
E-mail: omelav@ukr.net*

Негативное влияние засоления на рост и хозяйственную продуктивность культурных растений доказано многочисленными исследованиями, но дискуссионным остается вопрос о диапазоне концентраций солей, в пределах которого возможен рост и репродукция важнейших сельскохозяйственных культур.

Целью исследований явилось изучение показателей роста и анаболизма гибридов кукурузы, различных по солеустойчивости, на фоне хлоридного засоления возрастающих концентраций.

Объектами исследований служили 7-дневные проростки солеустойчивого гибрида кукурузы Веселка МВ и солечувствительного — ОдМа 310 МВ, которые выращивали на воде (контроль) и растворах NaCl в концентрациях 100 и 200 мМ (опыт).

Влияние засоления на рост проростков проявилось при концентрации NaCl в среде от 100 мМ и выше, причем больше был угнетен рост надземной части и боковых зародышевых корней, а длина главного зародышевого корня уменьшалась менее значительно. Под влиянием засоления 100 мМ NaCl наблюдалось снижение длины главного корня от 43,2% (у солеустойчивого гибрида) до 48,7% (у солечувствительного гибрида), общей длины боковых корней от 48,0% до 59,2%, а надземной части от 43,4% до 57,0% соответственно. Степень снижения длины главного корня на засолении 200 мМ NaCl составило от 68,8% до 77,7%, общей длины боковых корней от 76,6% до 92,4%, а длины надземной части от 83,5% до 93,4% соответственно против контроля.

На фоне засоления более интенсивно уменьшалось накопление биомассы. При засолении 100 мМ NaCl снижение массы сухого вещества корней составило от 36,6% (у солеустойчивого гибрида) до 73,3% (у солечувствительного гибрида), а надземной части от 61,7% до 86,7% соответственно. На засолении 200 мМ NaCl снижение массы сухого вещества корней составило от 70,9% до 88,6%, а надземной части от 87,3% до 95,5% соответственно против контрольного варианта.

Ростовые показатели отражают активность анаболизма в клетках растений. В условиях засоления 100 мМ NaCl содержание белка в корнях солеустойчивого гибрида увеличивалось на 28,3%, а при засолении 200 мМ NaCl — на 19,2%. У солечувствительного гибрида в условиях засоления 100 мМ NaCl наблюдалось снижение содержания белка на 2,8%, а на фоне засоления 200 мМ NaCl — на 5,0% против контроля.

Таким образом, рост, как многофакторный процесс, во многом зависящий от гормонов, на фоне засоления угнетен в большей степени, чем реакция анаболизма. Солеустойчивость кукурузы во многом зависит от свойств генома отдельных гибридов и сортов, что проявляется на начальных этапах развития.

**ВЛИЯНИЕ ГИББЕРЕЛЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА ПРОРАСТАНИЕ ЖЕЛУДЕЙ И РОСТ СЕЯНЦЕВ ДУБА ЗУБЧАТОГО (QUERCUS DENTATA TUNB.)****Орехова Т.П.***ФГБУН Биолого-почвенный институт ДВО РАН, Владивосток, Россия**E-mail: orekhova@ibss.dvo.ru*

Дуб зубчатый (*Quercus dentata* Tunb.) относится к редким видам и включен в Красную книгу России. В Приморском крае этот вид охраняется в заповедниках: «Кедровая падь», «Лазовском» и «Дальневосточном морском». Желуди дуба зубчатого относятся к рекальцитрантным семенам, созревают в сентябре-октябре и не прорастают после их опадения осенью, по сравнению с дубом монгольским. Этот редкий вид перспективен для внедрения в городское озеленение, поскольку отличается быстрым ростом, имеет крупные декоративные листья и крону. Цель наших исследований — ускорить прорастание находящихся в морфо-физиологическом покое желудей с помощью стимулятора роста — гиббереллиновой кислоты (ГК<sub>3</sub>) разной концентрации и получить качественный посадочный материал. Ранее нами установлено, что период прорастания не стратифицированных желудей дуба зубчатого растянут на 146 дней, причем стратификация сокращает этот период до 120 дней. Применение ГК<sub>3</sub> приводит к сокращению сроков прорастания желудей как в перикарпе, так и без него. Причем желуди, формирующиеся в более жестких условиях на побережье Морского заповедника, имели более глубокий покой (прорастали на 7-10 дней позже) по сравнению с желудями, собранными в материковой части. Прорастание желудей в перикарпе контрольных вариантов происходило на 46 день, удаление перикарпа сократило срок появления всходов до 22-26 дней. Обработанные раствором ГК<sub>3</sub> (замачивание на 48 час. в р-ре 100 мг/л) желуди без перикарпа начали прорастать уже на 10 день, а в концентрации 50 мг/л на 18 день, при этом прорастали также на 21-26 день и желуди находящиеся в перикарпе. На всех этапах прорастания отмечено удлинение побегов у растений, появившихся из обработанных ГК<sub>3</sub> желудей. Сеянцы в 2 раза превышали по высоте контрольные растения. Период 100% прорастания обработанных желудей закончился на 53 день, а число проросших контрольных растений на 83 день составляло от 44 до 72%. Таким образом, обработка желудей дуба зубчатого ГК<sub>3</sub> при условии удаления у желудей перикарпа снимает покой желудей и способствует быстрому появлению всходов. ГК<sub>3</sub> в концентрациях 50 и, особенно 100 мг/л, стимулирует растяжение клеток таблитчатого комплекса зародыша, стимулирует его дозревание, снимает покой гипокотилия и способствует быстрому прорастанию желудей.

## **СТРЕССОУСТОЙЧИВОСТЬ, РОСТ И РАЗВИТИЕ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РЕГУЛЯТОРА РОСТА ТЕРПАЛ**

**Полякова Н.В., Шуканов В.П., Манжелесова Н.Е., Корытько Л.А., Шанбанович Г.Н.**

*Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси,  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: patphysio@mail.ru*

Общепринятым способом борьбы с полеганием растений является применение ретардантов. В практике льноводства такой агроприем мало применим в связи с их свойством утолщать и укорачивать рост стебля. Для льна, где высота и толщина стебля определяет качество льнопродукции, необходим тщательный подбор таких регуляторов роста. При возделывании разных культур применяется большое количество известных ретардантов. Более всего изучены механизмы действия хлорхолинхлорида и этефона, которые являются антагонистами гиббереллина, благодаря чему снижают его биосинтез, что приводит к снижению интенсивности роста растений в высоту. Ретарданты при попадании в растение через устьица включаются в систему регуляции гиббереллина с той лишь разницей, что одни (хлормекватхлорид и его аналоги) ингибируют процесс образования гиббереллина путем торможения растяжения субапикальной меристемы, а другие (этефон) тормозят активность его действия. При действии первых активизируется работа цитокининов, в результате чего усиливается поперечное деление клеток, что приводит к утолщению стенки стебля и тем самым увеличению устойчивости к полеганию. Ретарданты, ингибирующие образование гиббереллинов, влияют только на растущие на момент обработки или сразу после нее участки стебля. Препараты же, работающие через изменение активности фитогормона, влияют на рост всего растения, благодаря чему они применимы и эффективны в процессе активной фазы вегетации. При полегании нарушается процесс ассимиляции и формирования генеративных органов, что вызывает значительное снижение урожая и ухудшение его качества. Затрудняется уборка и увеличиваются потери урожая. Для снижения негативных для растений последствий от применения ретардантов (ингибирование роста и развития и сокращения сроков адаптации) в смеси включали физиологически активные вещества и микроэлементы. Известно, что предобработка растений ретардантами влияет на фотосинтетический аппарат через транзиторное образование  $H_2O_2$ , приводящее к повышению активности антиоксидантной системы и стрессоустойчивости. Показано, что при обработке посевов льна-долгунца ретардантами отмечалось повышение устойчивости растений к грибным болезням, выраженное в снижении развития болезней до 1,5 раз по сравнению с контролем. Исходя из особенностей действия, наиболее адекватным для льна-долгунца был терпал и смеси с ФАВ и микроэлементами. Они увеличивали длину и количество волокон на срезе, повышали толщину стенки волокна, резко снижали степень одревеснения волокон, чем способствовали формированию высокоэластичного волокна.

## ПРИМЕНЕНИЯ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН ОГУРЦА

Ржевская В.С.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского,*

*Симферополь, Украина*

*E-mail: viktoriyar45@mail.ru*

На сегодняшний день известно положительное влияние на растения фосфатмобилизующих, азотфиксирующих ризобактерий, есть сведения об актиномицетах, значительно меньше изучены в этом направлении молочнокислые бактерии.

Целью наших исследований явилось изучение влияния молочнокислых бактерий на энергию прорастания, всхожесть и морфометрические показатели проростков растений. В работе использовали штаммы бактерий: *Lactobacillus casei* 6, *Lactobacillus plantarum* 20, *Lactococcus lactis* 4/6 (хранятся в Депозитарии ИМВ им. Д.К. Заболотного НАН Украины) и сорта огурцов (*Cucumis sativus* L.) «Конкурент» и «Феникс».

Семена сорта «Конкурент» имел высокий процент энергии прорастания всхожести (99% и 96% соответственно). Семена сорта «Феникс» имели низкий ростовой потенциал: процент энергии прорастания составил 47,3%, всхожести — 32,7%. Штамм *L. casei* 6 не оказал существенного влияния на энергию прорастания и всхожесть семян сорта «Феникс». Штамм *L. plantarum* 20 увеличил всхожесть семян на 12% по сравнению с контролем и не оказал существенного действия на энергию прорастания. Штамм *L. lactis* 4/6 увеличил энергию прорастания семян на 16%, всхожесть — на 22% по сравнению с контролем.

Изучаемые молочнокислые бактерии стимулировали рост проростков огурцов. Штамм *L. casei* 6 по сравнению с контролем увеличивал длину корневой системы на 8%, побега на 20% у сорта «Конкурент», и на 24% и 53% соответственно у сорта «Феникс». Штамм *L. plantarum* 20 стимулировал рост корневой системы на 20%, побега на 20% у сорта «Конкурент», у сорта «Феникс» на 16,7% и 34,8% соответственно. Штамм *L. lactis* 4/6 стимулировал рост корневой системы на 4,8%, побега — на 21,0% у сорта «Конкурент» и на 7,1% и 2,2% у сорта «Феникс» соответственно.

В результате наших исследований показано, что молочнокислые бактерии оказывают положительное действие в большей степени на всхожесть, чем на энергию прорастания, стимулируют рост побега в большей степени, чем корневой системы проростков. Исследованные штаммы являются перспективными для создания микробиологических консорциумов, предназначенных для стимуляции роста прорастания и роста растений.

## **ЗНАЧЕНИЕ МУТАЦИЙ AUX1-7, AXR1-3 И AXR4-2 В РЕГУЛЯЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ФИТОГОРМОНА АУКСИНА У ПРОРОСТКОВ *ARABIDOPSIS THALIANA***

**Романюк Д.А., Михайлова Ю.М., Емельянов В.В., Шишова М.Ф.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*  
*E. mail: daria-rom@yandex.ru*

Согласно современным представлениям, многообразие физиологических реакций, запускаемых ауксином определяется компетентностью клеток к фитогормону и его концентрацией. В настоящее время идентифицирован широкий спектр мутантов с измененной чувствительностью к ауксину, рост и развитие которых в ряде случаев существенно отличается от таковых у проростков дикого типа, что позволяет предположить возможность нарушений в системах синтеза, конъюгации, а также транспорта фитогормона.

В связи с этим цель данного исследования заключалась в проведении сравнительного анализа роста, развития, содержания ауксина, а также интенсивности экспрессии генов, кодирующих ферменты синтеза, конъюгации гормона и белки-транспортеры в побегах и корнях проростков арабидопсиса дикого типа и мутантов *aux1-7*, *axr1-3*, *axr4-2*, выращенных на безгормональной среде и при добавлении экзогенных природного (ИУК-индолилуксусная кислота) и синтетического (1-НУК-1-нафтилуксусная кислота) ауксинов.

Растения *Arabidopsis thaliana* выращивали в стерильных условиях, при 8 часовом фотопериоде в течение 20 дней. Были проанализированы длина корневой системы, масса корней и листьев. Содержания свободной ИУК в корнях и листьях проводили методом твердофазного иммуноферментного анализа. Интенсивность экспрессии оценивали с использованием метода ПЦР в реальном времени.

Внесение ИУК в околоразовую среду растений дикого типа приводило к повышению концентрации гормона в побеге, что стимулировало его развитие. Обработка 1-НУК напротив приводила к резкому повышению концентрации свободной ИУК в корнях, что вызывало резкое видоизменение коревой системы (укорочение и утолщение). Проростки мутантной линии *aux 1-7* отличались пониженным содержанием ИУК. Обработка природным ауксином приводила к повышению концентрации ИУК, особенно в побеге, что интенсифицировало рост всего проростка. Проростки мутантной линии *axr 1-3* напротив характеризовались многократным превышением содержания ИУК в тканях по сравнению с проростками дикого типа. Добавление экзогенного гормона еще больше увеличивало концентрацию эндогенного гормона и тем самым тормозила рост корневой системы. Обратная зависимость была выявлена для побега. Закономерности развития и динамика изменения концентрации гормона в тканях проростка мутантной линии *axr 4-2* в целом отличалась от таковой у линий *axr 1-3* и *aux 1-7* и была сходной с проростками дикого типа и в основном коррелировали с изменением экспрессии генов, кодирующих ферменты синтеза и конъюгации фитогормона.

Работа поддержана РФФИ 13-04-00945-а.

**РЕГУЛЯЦИЯ МОРФОГЕНЕЗА БОКОВЫХ КОРНЕЙ *ZEA MAYS* L.****Салмин С.А.***ФГБОУ ВПО «Орловский государственный университет»,**Орёл, Россия**E-mail: gio2-74@mail.ru*

Основную часть корневой системы составляют боковые корни разных порядков. Изучение механизмов регуляции ветвления имеют важное значение не только для понимания морфогенеза, но и развития новых приемов агротехники. Ауксины и их синтетические аналоги могут при определенных условиях стимулировать не только образование корней на черенках, но и боковых корней на главных корнях. Однако до сих пор остается неясным, чем определяется чувствительность корней к стимулирующему действию синтетических регуляторов на образование новых корней. Так до сих пор неясно, какие участки корня чувствительны к действию стимуляторов и чем определяется эта чувствительность. Кроме того, могут быть разные механизмы стимуляции образования новых корней, например, ускорение формирования примордия в материнском корне, изменение доли клеток перидикла, участвующих в образовании боковых корней, и другие. Далеко неясны механизмы корреляции между ростом главного корня и образованием новых корней.

Целью данной работы было изучение ветвления корня в нормальных условиях и механизмов изменения ветвления при действии фитогормонов и некоторых синтетических регуляторов роста.

Показано, что природные и синтетические ауксины стимулируют образование новых боковых корней только на небольшом участке корня, на котором находятся клетки, закончившие растяжение. На последующих участках корня, которые заканчивают рост уже после начала обработки корней ИУК и НУК, стимуляции ветвления не наблюдалось, хотя корни оставались в растворах. Эти эффекты не связаны с неустойчивостью и разрушением веществ, как считалось ранее.

Было определено время формирования боковых корней внутри материнского при обработке регуляторами роста и установлено, что оно оставалось постоянным при всех произведённых воздействиях.

Приближение боковых корней к кончику главного корня обусловлено не ослаблением апикального доминирования, а только замедлением роста главного корня.

Установлена специфика действия разных регуляторов роста. БАП, АБК, ТИБК всегда ингибировали рост главного корня и образование боковых корней, но на ранних этапах ингибирующее действие проявлялось сильнее.

Анатомический анализ показал, что все примордии развивались в боковые корни. Цитокинины, абсцизовая кислота, антиауксины полностью останавливают инициацию примордиев в перидикле и не оказывают влияния на формирование апикальной меристемы уже заложенных примордиев.

## **АКТИВНОСТЬ НИТРАТРЕДУКТАЗЫ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ, ВЫРАЩЕННЫХ НА ВОДЕ, ОБРАБОТАННОЙ КРАСНЫМ СВЕТОМ, ОЗОНОМ И УЛЬТРАФИОЛЕТОМ**

**Сафронова Н.М.**

*Кокшетауский государственный университет им.Ш.Уалиханова,  
Кокшетау, Казахстан  
E-mail: safronat@rambler.ru*

Биогенная питьевая вода «Туран», выпускаемая АО «Кокшетауминводы» проходит обработку красным светом, а также ультрафиолетом (УФ) и озоном. Озон и УФ используются для дезинфицирования, красный свет — для биоактивации. Представляло интерес выяснить, отражаются ли эти воздействия на физиологических процессах растений, учитывая, что их жизнедеятельность существенным образом зависит от воды. Ферментные системы являются первичным уровнем адаптации растительного организма к меняющимся условиям окружающей среды. Поэтому целью нашей работы было оценить изменения активности нитратредуктазы — ключевого фермента азотного обмена в зависимости от того каким образом была обработана вода, на которой выращивались растения.

Объектом исследований были растения мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Омская 19. В эксперименте использовали воду «Туран», которая добывается из скважины №1943 месторождения «Кенетколь» и бутилируется в АО «Кокшетауминводы». Растения выращивали на питательной среде Кнопа (1/4 нормы), приготовленной на воде «Туран», обработанной различным способом: красным светом (КС); ультрафиолетом (УФ); озоном; красным светом и озоном; красным светом и УФ; красным светом, озоном и УФ. В качестве контроля была исходная вода из скважины. Для обработки воды красным светом использовали гелий-неоновый источник монохроматического красного поляризованного света длиной волны 650 нм, продолжительность обработки составляла 4 мин. Ультрафиолетом с длиной волны 253,7 нм воздействовали в течение 30 сек. Закладка опыта была произведена через сутки после обработки воды.

У семидневных проростков измеряли сырую и сухую биомассу побегов и корней, активность нитратредуктазы *in vivo*.

Было установлено, что выращивание проростков пшеницы на воде, подвергавшейся различного рода физико-химическим воздействиям, отражалось на активности фермента. По сравнению с контролем у всех вариантов повышалась активность нитратредуктазы (АНР) корня по отношению к побегу в 1,2-2,3 раза.

Наиболее высокие значения АНР корня были отмечены у вариантов обработки озоном и УФ по отдельности, на 35 и 55 % выше контроля соответственно. Добавление КС уменьшало этот эффект, наиболее сильно в случае с озоном (почти до уровня контроля). Наименьшее значение АНР корней наблюдалось в варианте с тройной обработкой воды.

АНР побега проростков пшеницы была существенно ниже таковой корня у всех вариантов, включая контроль, в 2,2-3,4 раза. В целом восстановление нитратов в побеге у всех



вариантов было примерно на одном уровне. Самая низкая активность фермента была в варианте с тройной обработкой, на 49% ниже контроля. Однако эти растения накапливали наибольшую сырую массу по сравнению с другими вариантами.

Отмечено наличие определенной взаимосвязи между АНР и накоплением биомассы. Чем выше была сырая масса корня, тем в меньшей степени нитраты восстанавливались в побеге. Такая же закономерность наблюдалась между АНР корня и сухой массой побега.

Таким образом, обработка воды красным светом, озоном и ультрафиолетом отражалась на процессе восстановления нитратов у проростков пшеницы

### **«КИСЛЫЙ» РОСТ КАК ПУСКОВОЙ ПРОЦЕСС ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН**

**Синькевич И.А., Литягина С.В., Обручева Н.В.**

*Институт физиологии растений РАН, Москва, Россия*

*E-mail: sinkevich\_ia@mail.ru*

На различных семенах (конский каштан *Aesculus hippocastanum*, кормовые бобы *Vicia faba minor* и пшеница *Triticum aestivum*) было показано, что при набухании и прорастании в несколько раз усиливается выделение протонов из изолированных зародышевых осей, приводящее к подкислению наружного раствора. Эти наблюдения позволили выдвинуть гипотезу о том, что при инициации растяжения клеток в начале прорастания происходит явление так называемого «кислого» (индуцированного кислым рН) роста, по аналогии с началом растяжения клеток в растущих колеоптилях, эпикотилиях и гипокотилиях. Действительно, фосфатно-цитратный буфер рН 3.9 ускоряет прорастание семян и начало растяжения клеток в зародышевой оси. Последующий анализ показал, что подкисление наружного раствора, т.е. выделение протонов, ускоряется в присутствии фузикокина (активатора плазмалеммной протонной АТФазы) и ингибируется диэтилстильбэстролом и ортованадатом (ингибиторами этого фермента). Следовательно, запуск растяжения клеток при прорастании семян происходит по типу «кислого» роста при участии плазмалеммной протонной АТФазы, обеспечивающей выделение протонов из цитоплазмы в клеточные стенки и их подкисление. По аналогии с другими объектами можно представить себе, что такое подкисление вызывает активацию экспансинов и ферментов, разрыхляющих структуру клеточной стенки, что позволяет клетке начать увеличивать свой объем под напором поступающей воды.

**СРАВНИТЕЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЦЕЛЫХ И ДРОБНЫХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ  
УДОБРЕНИЙ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ  
И ПРОДУКТИВНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ**

**Сорокина Г. И.**

*Орловский государственный университет, Орёл, Россия*

*E-mail: kaf\_botany@univ-orel.ru*

Одной из важнейших задач сельскохозяйственного производства картофеля является поиск путей получения экологически чистого урожая. Существенным фактором, регулирующим течение физиологических процессов и формирования продуктивной массы растения, являются условия минерального питания — дозы и способы внесения удобрений. Картофель — одна из культур, предъявляющих особые требования к подбору доз и соотношений макро- и микроудобрений и способов их внесения. Однако этот вопрос не получил своего разрешения до настоящего времени. В основу наших исследований была положена технология выращивания картофеля доктора Д. Миттлайдера, которая признана во всем мире: в её основе лежит дробное внесение удобрений. Целью исследований являлось изучение влияния разных способов внесения удобрений на некоторые физиологические показатели — интенсивность ростовых процессов, показатели водного режима, интенсивность фотосинтеза, содержание смеси пигментов, качество и урожай клубней. Для исследований выбрали растения картофеля (*Solanum tuberosum*) сорта «Адретта». Растения выращивали в условиях почвенной культуры и полевого севооборота на серой лесной почве. Полевые опыты были заложены в трехкратной повторности по следующей схеме: контроль — без внесения удобрений; дробное внесение удобрений (по Миттлайдеру); одновременное внесение всей нормы удобрений. Разбив участка в полевом опыте был выдержан в строгой методике Д. Миттлайдера. В почвенной культуре опыт был заложен в восьмикратной повторности. Удобрения вносились по той же схеме, что и в полевой опыте. Постановка почвенной культуры проводилась по общепринятой методике. Исследования показателей роста проводили на протяжении всего вегетационного периода, а показателя водного режима, интенсивности фотосинтеза, содержания смеси пигментов — их свободных и связанных форм в фазы бутонизации, цветения и конца цветения. Результаты проведенных исследований показали, что дробное внесение удобрений является более эффективным по сравнению с одновременным. Дробное внесение удобрений значительно увеличило ростовую активность, показатели суточного прироста, листовую поверхность, массу куста. Из показателей водного режима повысилась оводненность листьев, содержание свободной воды, возросла интенсивность фотосинтеза, содержание хлорофилла «а», особенно прочно связанных форм.

**ВАЖЕН ЛИ СВЕТ ДЛЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ КОРНЯ?****Стриж И.Г.***Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. Москва, Россия**E-mail: irina.strizh@mail.ru*

Интересным, но крайне малоизученным вопросом является световая регуляция роста корней. Хорошо известно, что в естественных условиях растения, для оптимизации своего роста, постоянно подстраивают свое строение в ответ на различные стимулы, приходящие из окружающей среды, включая свет и гравитацию. Корни обладают явно выраженными отрицательным фототропизмом и положительными геотропизмом и гидротропизмом. На настоящий момент показано, что гравитропизм и элонгация корней регулируются красным светом, а рецепторы синего света, криптохромы и фототропины, участвуют в регуляции роста корня растяжением и его фототропизма, по-видимому, напрямую осуществляя связь с белками-переносчиками ауксина. Помимо фоторецепторов видимого света, белки рецепторы UV-B также были обнаружены в корнях. В последние годы ряд авторов считает целесообразным исследовать истинные механизмы роста и развития корня не в условиях полного освещения модельного растения *Arabidopsis thaliana*, а при освещении только его побега. Вместе с этим необходимо подчеркнуть, что свет определенной длины волны способен проникать в почву и, тем самым, регулировать рост корня и растения в целом. Важным фактом, обнаруженным нами ранее и продемонстрированным недавно в других лабораториях, является светозависимая продукция активных форм кислорода (АФК) в корнях арабидопсис. Для изучения места рецепции светового сигнала, направленному освещению подвергались либо корни, либо побеги этиолированных проростков. Было обнаружено, что светозависимая продукция АФК в кончике корня происходит в обоих случаях. Освещение этиолированных проростков узкополосным светом с помощью светодиодов красным (660 нм) или дальним красным (730 нм) светом не инициировало развитие АФК-зависимого гистохимического окрашивания корня, тогда как действие синего света (420 нм) было сопоставимо с действием белого света. Анализ по базе данных TAIR результатов ДНК-микроэрепей и собственных результатов нативного электрофореза, позволяет предположить, что синий свет индуцирует в корнях экспрессию пероксидаз, предположительно, PER64, PER69 и PER71, которые могут участвовать в продукции АФК, необходимых для инициации роста корня растяжением. Таким образом, свет является важным регуляторным фактором роста и развития корня, а фотозависимая индукция пероксидаз и АФК приводит к изменению скорости роста растяжением первичного корня.

## ГАЛОПЕРОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТЬ В ТКАНЯХ ЛИТОРАЛЬНЫХ И СУБЛИТОРАЛЬНЫХ ФУКУСОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Тараховская Е. Р., Маслов Ю. И.

Санкт-Петербургский Государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: elena.tarakhovskaya@gmail.com

Метаболизм и функционирование активных форм кислорода (АФК) у морских макрофитных водорослей в настоящее время является одним из самых малоизученных направлений физиологии растений. Характерная особенность морских организмов — это наличие уникальных по своим свойствам ферментов — ванадий-зависимых галопероксидаз. Характеристики и функции V-галопероксидаз пока описаны только в общих чертах, однако, уже очевидно, что они играют важную роль не только в обеспечении жизнедеятельности морских организмов (регуляция ростовых процессов, биоадгезия, ликвидация избытка АФК и т.д.), но и в глобальных процессах, определяющих химический состав атмосферы (Wever et al., 1991; Laturus, 2001; Ruiz-Halpern et al., 2010). Объектами данного исследования послужили бурые макрофиты, населяющие литораль (*Fucus vesiculosus*, *F. distichus*, *Ascophyllum nodosum*, *Pelvetia canaliculata*) и сублитораль (*F. serratus*, *F. edentatus*) Белого моря. Определения проводили в четырех зонах таллома водорослей — основании, центральной части, вегетативных апексах и зрелых рецептакулах. Активность иодо- и бромопероксидаз в очищенных экстрактах определяли спектрофотометрически по реакции с тимоловым синим (Verhaeghe et al., 2008). В тканях всех исследованных видов фукоидов бромопероксидазная активность была в 1,5-2 раза выше, чем иодопероксидазная. Значения Km по бромиду и иодиду составили соответственно 25 и 0,16 мМ. Наиболее высокие значениями галопероксидазной активности (до 0,7 U/г сыр. веса для бромирования и до 0,5 U/г сыр. веса для иодирования) отмечены у видов, населяющих среднюю литораль (*A. nodosum* и *F. vesiculosus*). Минимальными активностями галопероксидаз характеризовались сублиторальные виды. У типично литоральных видов галопероксидазная активность была максимальной в основании таллома и постепенно снижалась по направлению к апексам. У сублиторальных видов активность равномерно была распределена вдоль таллома. Активность галопероксидаз в рецептакулах всех исследованных видов была на порядок ниже, чем в вегетативных тканях. Эти результаты хорошо согласуются с данными по содержанию пероксида водорода в тканях водорослей (Tarakhovskaya et al., 2011). Полученные данные позволяют заключить, что активность V-галопероксидаз вносит существенный вклад в регуляцию содержания H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в тканях литоральных фукоидов.

## **РОСТОВЫЕ РЕАКЦИИ ЗЕРНОВЫХ ЗЛАКОВ НА ОСМОТИЧЕСКИЙ И СОЛЕВОЙ СТРЕССЫ *IN VIVO* И *IN VITRO***

**Терлецкая Н.В.**

*Институт биологии и биотехнологии растений КН МОН РК, Алматы, Казахстан*

*E-mail: teni02@mail.ru*

Одним из самых наглядных показателей изменения метаболизма растения при стрессе — на любом из уровней растительной организации — является торможение роста. Даже сравнительно невысокий уровень осмотического или солевого стрессов может существенно снижать ростовые характеристики и зерновую продуктивность злаков. В экспериментах *in vivo* и *in vitro* изучалось действие осмотического и солевого стрессов на рост и развитие зерновых злаков (пшеница, ячмень). Показано, что количественные изменения ростовых показателей под влиянием действия абиотических стрессоров выявляют неспецифичность характера этих изменений, как для разных видов зерновых злаков, так и для разных стрессоров как *in vivo*, так и *in vitro*. Но, при общей неспецифичности явления снижения роста, можно говорить и о видовой и сортовой специфичности влияния стрессоров на морфологическую структуру растений, в частности, на ростовые характеристики корневой системы, на соотношение линейных размеров корень/лист, а также — на процессы морфогенеза *in vitro*, которые у стрессоустойчивых форм в неблагоприятных условиях остаются практически неизменными по отношению к контролю, либо несколько стимулируются, что дает возможность диагностировать изучаемые сорта и виды по ряду параметров, обуславливающих толерантность к абиотическим стрессам на ранних этапах онтогенеза. В суспензионной культуре выявлена тенденция к ускорению прохождения всех фаз развития и значительное снижение жизнеспособности клеток, но при этом показана способность соматических клеток солеустойчивых генотипов восстанавливать жизнеспособность после жесткого солевого стресса, что дает перспективы для клеточной селекции. Показана возможность регенерации и получения жизнеспособных растений с выраженной устойчивостью к засухе и засолению в селективных стрессовых условиях *in vitro*.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ РАСТЕНИЙ АБРИКОСА, ОБРАБОТАННЫХ ЛИНАРОЗИДОМ**

**Титова Н.В.**

*Институт Генетики и Физиологии Растений АН, Кишинев, Молдова*

*E-mail: nvtmd@mail.ru*

В последнее время для оптимизации роста, фотосинтеза и продуктивности растений значительное внимание уделяется экзогенной регуляции этих процессов с помощью натуральных регуляторов роста. Начато изучение действия нового гликозида фенольной

природы линарозид, выделенного из растения *Linaria vulgaris Mill.*, на растения абрикоса. Исследовали однолетние растения абрикоса перспективных для садоводства Молдовы сортов Олимп и NJA-42, произраставших в лизиметрах Института. В фазу интенсивного роста (конец мая) опытные растения опрыскивали 0.01 % водным раствором линарозида и контрольные—водой. Оценку физиологического состояния саженцев проводили по накоплению биомассы надземными органами и корневой системой и их соотношению. Анализ полученных данных показал, что под влиянием препарата линарозид отношение сухой массы к сырой в надземных органах сорта NJA-42 превышало контроль на 10-14 % и в корнях—на 25-30%. Это, как известно, свидетельствует об оптимальном соотношении фитогормонов во всем растении и характеризует физиологическое состояние растений. У сорта Олимп опытные и контрольные растения мало отличались. Отношение массы листьев к общей массе растения у обоих сортов было близким (около 0,182), что связано с одинаковой интенсивностью роста всех органов и нарастанием листовой поверхности. Соотношение между корневой системой и надземной частью под действием линарозида у сорта Олимп выше контроля на 12% м у сорта NJA-42—на 25 %, что может свидетельствовать о более высокой экологической стабильности опытных растений в засушливый период вегетации. Величины соотношения масс корней и побегов также более высокие у растений, подвергнутых действию линарозида. Соотношение масс побеги/корни у сорта NJA-42 в контроле составляло 1,79 и в опыте—1,69, что отражает не только увеличение или подавление роста этих органов, но и запрос на ассимилянты и их доступность. У сорта Олимп это менее выражено. Отношение массы корней к массе листьев отражает специфическое действие линарозида на рост основного донора—листьев и акцептора—корня. У сорта Олимп в контроле и опыте величины этого отношения составляли 0,89 и 1,06 и у сорта NJA-42 соответственно 0,72 и 1,03.

Выявлена способность гликозида фенольной природы линарозид изменять соотношение масс листьев, побегов, всей надземной части и массы корней молодых растений абрикоса в сторону усиления аттрагирующей роли корневой системы, что повышает их экологическую устойчивость в период засушливого вегетационного сезона.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТАМИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РОСТА И РАЗВИТИЯ ЗЕРНОВОЙ КУЛЬТУРЫ**

**А. Р. Ткачёва**

*Южно-Уральский Государственный Университет, г. Челябинск, Россия*

*E-mail: a.tkachiova@mail.ru*

Актуальность проблемы. Большое значение придается новым приемам предпосевной обработки семян экологически безопасными препаратами. Это—технология обработки семенного материала биопрепаратами, дающая прибавку к урожаю на 10–25 %.

Цель исследований: сравнить эффективность влияния биологически активных препаратов Гуми-М и Крезацин на процессы роста и развития зерновой культуры, путем предпосевной обработки семян.

Гипотеза: Изучив теорию о стимуляторах роста, мы предположили, что предпосевная обработка семян данными биопрепаратами, может усилить процессы роста и развития яровой пшеницы, и в условиях Челябинской области.

Материал и методика проведения опытов. В качестве биологического объекта мы взяли кондиционные семена яровой пшеницы сорта Эритроспермум 59. Исследования проводили в течение трёх лет, в лабораторных и полевых условиях, по предложению учёных БашГУ и ОмГАУ. Посев пшеницы проводили вручную, в середине мая, с нормой высева 4,5 млн. шт. всхожих зерен на 1 га, площадь делянок — 3 м<sup>2</sup>, повторность — 3-х кратная. Предпосевную обработку семян мы проводили за сутки до посева. В период роста и развития вели подсчет густоты всходов на делянке, с последующим подсчетом густоты продуктивных колосьев.

В результате исследований сделаны выводы:

1. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы сорта Эритроспермум 59 препаратами Гуми-М и Крезацин, за три года показала, что положительно влияет на её рост и развитие.

2. Наибольший прирост урожайности наблюдается при обработке семян препаратом Гуми-М, на 0,3 т/га.

3. Влияние на продуктивность яровой пшеницы обусловлено увеличением энергии прорастания и всхожести семян, а также окореняемости проростков; в процессе вегетации — увеличением площадей первого и второго верхних листьев.

4. Предпосевная обработка семян зерновых культур стимуляторами роста может обеспечить экономическую и экологическую безопасность растениеводства в Челябинской области и в регионе.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И УЛЬТРАСТРУКТУРЫ КЛЕТОК ЛИСТЬЕВ У ПРОРОСТКОВ РОДИТЕЛЬСКИХ ЛИНИЙ И ГИБРИДОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА**

**Усатов А.В., Федоренко А.М., Тихобаева В.Е., Токаренко М.Р.**

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

*E-mail: usatova@mail.ru*

Изучение структурных и ультраструктурных компонентов листовой ткани и клеток, а также энергетических органелл — пластид и митохондрий представляет интерес для селекции и выяснения роли их изменчивости в повышении скорости роста и продуктивности растений. В связи с этим, была проанализирована структура и ультраструктура листовой ткани, клеток и клеточных органелл у проростков родительских линий и ге-



терозисных гибридов F1 подсолнечника полученных на их основе. В анализ по высоте проростков на стадии 1-2 пары настоящих листьев были отобраны одна отцовская линия ВД 541 Rf ( $6,3 \pm 0,3$  см), две различающиеся по скорости роста материнские линии ЭД 73 ( $7,2 \pm 0,4$  см) и ЭД 169 ( $5,6 \pm 0,3$  см), а также гибриды F1—ЭД 73 × ВД 541 Rf ( $10,0 \pm 0,5$  см) и ЭД 169 × ВД 541 Rf ( $7,9 \pm 0,4$  см), с эффектом гетерозиса по высоте проростков—ГРС—48% и 33%, соответственно. В работе использовали высечки (2x2мм) из центральной части первой пары настоящих листьев проростков. Образцы фиксировали и окрашивали по стандартным методикам. Срезы получали на микротоме EM UC26 (Leica, FRG), а их исследования проводили в светооптическом Axioskop Zeiss (Германия) и электронном Теснаи 12 (Phillips, Голландия) микроскопах. Полученные результаты свидетельствуют, что структурные параметры, такие как число клеток на единицу площади столбчатой паренхимы и отношение площади пластид к общей площади клетки мезофила 1-й пары настоящих листьев проростков родительских линий ВД 541 Rf, ЭД 73 и ЭД 169 коррелируют с их ростовыми показателями. Аналогичная зависимость показана и для гибридов F1—ЭД 73 x ВД 541 Rf и ЭД 169 x ВД 541 Rf. Сравнительный анализ электроннограмм родительских линий и гибридов показал, что у всех изученных форм количество пластид и митохондрий варьирует в общих границах, однако у гибридов энергообразующие органеллы имеют более развитую систему внутренних мембран, относительно родительских форм. Также у гибридов в клетках 1-й пары настоящих листьев мы наблюдали многочисленные пероксисомы, представленные на срезах в виде триад: пластида—митохондрия—пероксисома. Такие изменения структуры листовой ткани, могут отражать более высокий уровень метаболических процессов, например фотосинтеза, и, следовательно, скорости роста растений.

Исследование выполнено в рамках темы Министерства образования и науки РФ (№ 4.5642.2011) и при финансовой поддержке ФЦП Министерства образования и науки РФ (госконтракт № 16.740.11.0485).

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОКУСОВ FRIGIDA В ГЕНОМАХ BRASSICA A, B И C**

**Фадина О.А., Хавкин Э.Е.**

*ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии Россельхозакадемии, Россия, Москва*  
*E-mail: fadinaokcaha@gmail.com*

В регуляции перехода арабидопсиса к цветению под влиянием пониженных температур участвуют гены *FLOWERING LOCUS C (FLC)* и *FRIGIDA (FRI)*, и взаимодействие сильных и слабых аллелей этих генов во многих случаях объясняет полиморфизм по времени зацветания. Культурные виды *Brassica* включают яровые и озимые однолетние и двулетние жизненные формы, сильно различающиеся по времени зацветания, однако, несмотря на их огромное экономическое значение, строение и функции гомологов гена *FRI* у этих видов исследованы совершенно недостаточно.

Мы клонировали последовательности *FRI* из геномов диплоидных видов *B. rapa* (геном AA), *B. nigra* (BB) и *B. oleracea* (CC) и тетраплоидных видов *B. carinata* (BBCC), *B. juncea* (AABB) и *B. napus* (AACC) и сопоставили их с геномными и кДНК последовательностями из нескольких баз генетических данных.

В отличие от арабидопсиса, в геномах А и С *Brassica* ген *FRI* представлен двумя локусами—*FRIa* и *FRIb*, локализованными на разных хромосомах. В пределах одного локуса и одного генома нуклеотидные последовательности *FRI* были сходны на 95-99%, внутри каждого локуса при сравнении геномов А и С—на 87-94%, а сходство последовательностей, принадлежащих двум разным локусам, в пределах одного генома не превышало 80%. По своему строению ген *FRIa Brassica* не отличается от *FRI A. thaliana*. Как и у арабидопсиса, белок FRIGIDA принадлежит к функциональному классу I, однако у *Brassica* характерная для FRIGIDA арабидопсиса биспиральная структура всегда встречается только в С-концевой части белка и отсутствует в N-концевой части белка у большинства гомологов FRIGIDAa.

Последовательности *FRI* из диплоидных видов *B. rapa* и *B. oleracea* сохраняются в угеномах А и С тетраплоидных видов *B. carinata*, *B. juncea* и *B. napus* (96-99% сходства), и описанные варианты гена представляют геном-специфичные, но не видоспецифичные аллельные пулы локусов *FRI.a* и *FRI.b*.

При филогенетическом анализе наиболее консервативного центрального участка *FRI* отчетливо различаются два кластера, соответствующие линиям I (Camelineae) и II Brassiceae), а внутри последнего—последовательности, принадлежащие линиям *Brassica A/C* и В. Появление двух локусов *FRI* предшествовало видообразованию в роде *Brassica*, а возможно, — и выделению этого рода.

## **ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРА РОСТА РАСТЕНИЙ ЗЕАСТИМУЛИН НА СОДЕРЖАНИЕ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В РАСТЕНИЯХ КУКУРУЗЫ**

**Федак В.В., Мамчур О.В., Ривис И.Ф.**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов, Украина*

*E-mail: oksanamatczur@mail.ru*

Интенсивность метаболизма растительного организма детерминирована большим количеством факторов. Особенно важно оптимальное соотношение этих факторов в критические периоды онтогенеза растений, когда происходит интенсивный рост вегетативной массы, инициация и развитие генеративных органов. Для кукурузы критические периоды—фаза 3–5 листьев, выбрасывание метелки и цветение. Одним из возможных путей влияния на метаболизм растений в процессе онтогенеза—применение физиологически активных веществ, особенно имеющих рострегулирующие свойства. К таким препаратам относится использованный нами композитный регулятор роста растений Зеастимулин, разработанный МНТЦ «Агробиотех», рекомендованный для кукурузы. Кукуруза являет-

ся источником ценных незаменимых жирных кислот, но данных по влиянию физиологически активных веществ на метаболизм и накопление жирных кислот в листьях и зерне в литературе практически нет. Поэтому цель нашего исследования — изучение динамики накопления жирных кислот общих липидов, незатерифицированных и анионных ЖК в листьях кукурузы раннеспелого гибрида Немиров в фазе 3–5 листьев, выбрасывание метелки, цветение, образование початков в зависимости от использования регулятора роста Зеастимулин.

Установлено, что в спектре ЖК листьев кукурузы преобладает полиненасыщенная линоленовая кислота (102,5–152,6 мкг/г), ее часть составляет 48,1–49,8% от всех ЖК. Содержание ЖК в листьях контрольных и опытных растений увеличивалось в процессе их роста, начиная с фазы 3–5 листьев. Максимальное содержание всех типов ЖК выявлено в фазе цветения, резкое снижение — в фазе образования початков. Такое снижение содержания ЖК в листьях кукурузы связано, скорее всего, с интенсивным оттоком метаболитов, в частности ЖК, из листьев в образующиеся початки — которые в этот период становятся активными аттрагирующими центрами.

Показано достоверное увеличение содержания насыщенных и ненасыщенных ЖК у опытных растений, обработанных Зеастимулином. В частности, содержание линоленовой кислоты в фазе цветения возросло на 19,8%, а в фазе образования початков — на 20,1% по сравнению с необработанными растениями в той же фазе. Такое изменение содержания ЖК в листьях кукурузы под влиянием Зеастимулина объясняется механизмом его действия на растения. В частности, описано его влияние на состояние и проницаемость клеточных мембран, модификацию гормонального баланса, направления метаболических процессов, и как следствие — возрастание продуктивности и устойчивости обработанных растений.

## **ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ АНТИОКСИДАНТОВ ФЕНОЛЬНОЙ ПРИРОДЫ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ РЖИ ПОСЕВНОЙ (*SECALE CEREALE L.*)**

**Федураев П.В., Чупахина Г.Н., Скрыпник Л.Н., Моль К.Э., Коготкова К.А.**

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия  
E-mail: pavelf15@mail.ru*

Важным фактором устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды является функционирование эффективной многоуровневой антиоксидантной системы, включающей как высокомолекулярные, так и низкомолекулярные соединения. К последним относятся фенольные соединения, или полифенолы, являющиеся одними из наиболее распространенных в растительных клетках вторичных метаболитов. Известно, что многие из них обладают высокой антиоксидантной активностью. И если вклад нативных фенольных соединений в общую активность антиоксидантной системы изучен подробно, то влияние синтетических антиоксидантов исследовано недостаточно.

Изучалось действие таких синтетических антиоксидантов, таких как Агидол-1 (4-метил-2,6-ди-трет-бутил фенол) и Агидол-2 (2,2-метелен-бис(4-метил-6-трет-бутилфенол)). В качестве объекта исследования была выбрана рожь посевная, являющаяся удобным модельным растением, хорошо наращивающим биомассу.

Растения выращивались в чашках Петри и заливались рабочими растворами с Агидолами в концентрациях 25  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 100  $\mu\text{M}$ . Контрольная группа выращивалась на дистиллированной воде. Анализ растительного материала проводился на 7-ые и 14-ые сутки после посадки.

Для растений, обработанных 100  $\mu\text{M}$  растворами Агидолов, обнаружено полное ингибирование ростовых процессов. В результате проведенных исследований было установлено, что обработка растворами синтетических антиоксидантов, достоверно не влияла на накопление биомассы и длину проростков растений по сравнению с контролем.

Однако одним из показателей интенсивности обменных процессов является накопление вторичных метаболитов. Исследования показали, что растения, обработанные 25  $\mu\text{M}$  растворами Агидола 1 и Агидол 2, содержали большее количество лейкоантоцианов (флаван-3,4-диолов) и катехинов (флаван-3-олов) по сравнению с контролем, в то время как у растений, выращенных на концентрации 50  $\mu\text{M}$ , уровень данных флавоноидов был достоверно ниже по сравнению с контролем.

Таким образом, был выявлен фитостимулирующий эффект синтетических антиоксидантов в концентрации 25  $\mu\text{M}$ .

## **ВОЗРАСТНАЯ СПЕЦИФИКА ГАЗООБМЕНА ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И БЕРЕЗЫ КАРЕЛЬСКОЙ**

**Холопцева Е.С.<sup>1</sup>, Болондинский В.К.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия,*

*E-mail: holoptseva@krc.karelia.ru*

<sup>2</sup> *Институт леса Карельского научного центра РАН,*

*E-mail: bolond@krc.karelia.ru*

Интенсивность нетто-фотосинтеза растений в природе зависит как от влияния внешних факторов, так и от внутреннего состояния растения, в основном от фазы развития и в соответствии с ней — от запросов на ассимиляты. Транспирация листьев в основном зависит от температуры, дефицита водяного пара в воздухе и устьичной проводимости.

В задачи исследований входило: при оптимальных внешних условиях и хорошей оводненности почвы во время интенсивного роста побегов изучить газообмен разновозрастных листьев саженцев березы повислой (*Betula pendula*) и березы карельской (*Betula pendula* var. *carelica*). Исследование проводили с помощью газоанализатора LI-840 (Li-Cor, USA).

Ранее установлено отсутствие существенной разницы в средних величинах фотосинтеза у *БК* и *БП*, как в природных, так и факторостатных условиях. При этом известно, что ростовые процессы у *БК* по сравнению с *БП* снижены и у первой происходит торможение камбиальной деятельности в результате накопления избыточного количества транспортных сахаров в этой зоне. В свою очередь, замедление ростовых процессов может репрессорно воздействовать на активность фотосинтетического аппарата. Проведенные исследования показали, что средние величины фотосинтеза у карельской березы (*БК*) и березы повислой (*БП*) близки и составляли — 11,39 и 12,30 мкмоль м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup> соответственно. Средние уровни транспирации составляли 1,86 и 2,27 ммоль м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup> у *БК* и *БП* соответственно. Устьичная проводимость у зрелых листьев *БК* в среднем была на 25 % ниже, чем у *БП*. Однако их фотосинтез у *БК* оставался на уровне близком к *БП* благодаря более высокой мезофильной проводимости. Продуктивность транспирации у зрелых и молодых листьев *БК* была на 18 % и 38 % выше (соответственно), чем у *БП*. Наблюдаемое у двух форм березы снижение (в 1,3 раза) фотосинтеза молодых листьев, по сравнению со сформировавшимися, у *БП* было обусловлено как уменьшением устьичной (в 1,2 раза), так и мезофильной (в 1,3 раза) проводимости. У *БК* устьичная проводимость практически не изменялась, тогда как мезофильная — уменьшалась почти в 2,1 раза. Второй причиной снижения поглощения CO<sub>2</sub> молодыми листьями было меньшее содержание в них хлорофилла.

Таким образом, некоторые различия в значениях измеряемых и рассчитанных величин газообмена растений двух форм берез, во многом связаны с возрастным состоянием исследуемых листьев. Несколько пониженный газообмен у растений *БК* компенсировался его направленностью на максимально эффективное использование имеющегося потенциала для повышения продуктивности процесса.

Работа поддержана грантом РФФИ №13-04-00827 А.

## **ГРАВИЗАВИСИМАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ СПОР МХА *CERATODON PURPUREUS* BRID.**

**Хоркавцив Я.Д., Кит Н.А.**

*Институт экологии Карпат НАН Украины, г. Львов, Украина*

*E-mail: morphogenesis@mail.lviv.ua*

Возникновение полярности и неравномерный рост — неизменно сложное явление в биологии развития. Показательным поляризованным ростом является гравитропическая реакция, а наиболее поляризованным внешним фактором — гравитация. Реакция растений на внешние раздражители выявляется прежде всего как изменение положения органов в пространстве. Для исследования гравичувствительности и клеточной полярности используют протонему мхов — гаплоидную гаметофитную стадию развития с верхушечным типом роста. Как и органы цветковых растений, мхи воспринимают гравитационное раздражение и реагируют на его действие изменением направления роста. Преимуществом мхов является то, что местом гравиперцепции и гравитропического ответа является одна

полярно организованная апикальная клетка (Sack, 1993; Демкив и др., 1997). Грависенсорной системой протонемы мхов служат амилопласты, сосредоточенные в субапикальной части верхушечной клетки и седиментирующие во время гравистимуляции на ее нижнюю сторону. Столоны протонемы мхов на свету растут плагиотропно и не проявляют фото- и гравитропизма, вероятно вследствие взаимодействия света и гравитации и отсутствия градиентов внешней среды. В темноте образуется пучок растущих вверх столонов, что рассматривают как адаптивную гравитропическую реакцию. У мха *C. purpureus* изучали поляризацию клеток спор и развитие оси роста под влиянием гравитации. На свету около 40% спор прорастают полярно, остальные ростки образуются рандомически, дисперсия между углами  $\sigma=36,7^\circ$ , т.е. наличие оси полярности предопределено эндогенным упорядочением. В темноте направление ростков строго соответствует вектору гравитации. Таким образом, гравиперцепция инициирует эндогенные изменения клеток спор, после чего происходит трансдукция сигнала в ростовую реакцию. Если положение спор периодически изменять относительно силы тяжести, то росток образуется параллельно вектору гравитации, т.е. гравитация изменяет полярность и ориентацию роста. Вероятно, в поляризации спор и направлении ростков участвуют различные сигнальные пути. Развитие полярной оси спор зависит от градиентного распределения  $Ca^{2+}$ , которое изменялось в соответствии с вектором гравитации. Высокое содержание  $Ca^{2+}$  установлено в верхней части споры, где возникает росток, а нифедепин нарушал полярное распределение  $Ca^{2+}$ , стимулируя аполярный рост. В зоне будущего ростка обнаружено также большее содержание каллозы и локализацию микрофиламентов, вероятно актиновый цитоскелет принимает участие в инициации роста клеточной стенки.

## **НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДУКЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АММИАКАТОВ**

**Чиков В.И.**

*Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Казанского института биохимии и биофизики Казанского научного центра  
Российской академии наук, Казань, Россия  
Email: vichikov@bk.ru*

Известно, что апопластный (АП) фермент инвертаза (ИН) гидролизует сахарозу, препятствуя её загрузке во флоэмные окончания. Оценивая содержание и состав меченых ассимилятов в АП после ассимиляции  $^{14}CO_2$ , показано участие ИН в формировании эффекта торможения экспорта ассимилятов из листьев. Ап инвертаза имеет оптимум своей активности в кислой области pH. Это создавало предпосылки для влияния на экспортную функцию листа через изменение активности ИН. Действительно, искусственное изменение pH внеклеточной жидкости листьев позволяло изменять интенсивность фиксации  $^{14}CO_2$ . Показано, что подкисление внеклеточной водной среды листьев (парами HCl) вызывает ингибирование фотосинтеза и накопление меченых продуктов фотосинтеза в АП, подщела-

чивание (парами  $\text{NH}_3$ ), наоборот, стимулирует фотосинтез и снижает содержание  $^{14}\text{C}$  в АП. В связи с такими результатами возникла идея прижизненно повысить рН внеклеточной среды листьев и, тем самым, увеличить экспортную функцию листьев.

Поскольку по данным литературы ионы тяжелых металлов в растительных тканях адсорбируются на полимерных волокнах клеточной стенки, то был выбран путь повышения рН в АП с помощью ионов меди и цинка, которые являются биогенными микроэлементами. Для реализации идеи были использованы комплексные соединения меди и цинка с аммиаком:  $\{[\text{Me}(\text{NH}_3)_n]^{+m} \cdot \text{A}^{-m}\}$ , где: Me — металл. А — анион слабой кислоты; n и m — соответственно количество связанных молекул аммиака и число основанности соответствующей органической кислоты.

Ион меди или цинка окруженный молекулами аммиака замещает  $\text{H}^+$  в молекуле полисахарида клеточной стенки и занимает его место, сохраняя при этом на поверхности положительный заряд за счет смещения электронов от  $\text{NH}_3$  к иону металла. Вытесненный из полимера  $\text{H}^+$  связывается с остатком слабо диссоциирующей кислоты и выбывает из среды. В результате в АП создается устойчивый избыток положительных зарядов, который сохраняется на время жизни обработанного листа, при этом подавляется активность инвертазы и повышается углеводная направленность фотосинтеза.

Испытание различных по составу аммиаков показало, что эффективность аммиаков выше при использовании в качестве металла меди, чем цинка. С использованием в качестве аниона остатка яблочной кислоты в большей степени (чем карбамата) стимулировался рост корневой системы, что, вероятно, связано с интенсификацией переноса нитратов из корней в листья. Интенсификация продукционного процесса обработкой растений раствором аммиаков наблюдалась и у симпластных растениях (огурцы).

Представлены примеры успешного изменения продукционного процесса (повышения сахаристости сахарной свеклы, стимуляция роста надземной массы растений и корнеплодов, повышения устойчивости к засухе путем интенсификации роста корней, накопления в почве азота за счет повышения усвоения азота воздуха путем лучшего снабжения свободных азотфиксаторов органическим веществом).

## **ВЛИЯНИЕ ЦИРКОНА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ТОМАТОВ СОРТА «БЫЧЬЕ СЕРДЦЕ» НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА**

**Чмелева С.И., Меметов Ш.С.**

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь  
Тел.: (0652) 608-465. E-mail: chmelevasiv@ukr.net*

На современном этапе интенсификации различных отраслей растениеводства необходимо применять современные методы воздействия на культурные растения, среди которых особое место занимает использование биологически активных веществ. Наряду с природными регуляторами роста все большее значение приобретает использование новых син-



тетических физиологически активных веществ, а также комплексных препаратов, обладающих большим спектром физиологического действия на растение. К таким препаратам относится циркон, действующим веществом которого является смесь гидроксикоричных кислот, получаемых из растительного сырья эхинацеи пурпурной.

Циркон — препарат широкого спектра биологического действия, рекомендован производителем для обработки различных сельскохозяйственных культур. Объектом наших исследования были семена и растения томатов сорта «Бычье сердце». Для изучения влияния 0,25; 0,50 и 1,00 %-ных растворов препарата циркон применяли предпосевную обработку семян в течение 6-10 часов, контролем служила отстоянная водопроводная вода. Для определения всхожести обработанные семена проращивали в чашках Петри в термостате типа ТС-80 120 часов в темноте при +25°С (ГОСТ 12038-84). Обработанные цирконом семена сеяли в специальные ящики, заполненные почвенной смесью, заглубляя их на 1,5–2,0 см. Все морфологические измерения проводили по общепринятым методикам в динамике на 10-е, 20-е, 30-е, 40-е и 50-е сутки исследований.

В результате наших исследований было установлено, что циркон стимулирует ростовые процессы томатов сорта «Бычье сердце» уже на ранних этапах онтогенеза, данный эффект сохраняется на протяжении всего эксперимента. Наблюдается увеличение надземной и подземной части растений, как по массе, так и по длине. Наилучшие результаты были получены нами при 8-ми часовом замачивании семян томатов сорта «Бычье сердце» в растворе исследуемого препарата 0,50 %-ной концентрации. Показано стимулирующее влияние регулятора роста в данной концентрации на энергию прорастания и всхожесть семян томатов. Замачивание семян в растворе циркона позволило повысить всхожесть в среднем на 2-8% в опытных вариантах по сравнению с контрольными вариантами. Установлено, что предпосевная обработка семян в 0,50 %-ной дозе способствовала увеличению высоты растений томатов на 50-е сутки учета в опытных вариантах в 1,4 раза по сравнению с контролем; количества листьев — в 1,3 раза; толщины стебля — в 1,5 раз, числа цветков и бутонов — в 1,2 раза.

### **ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА ВОДЫ НА ПРОДУКЦИЮ ЭТИЛЕНА И УСТЬИЧНУЮ ПРОВОДИМОСТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ ИНГИБИТОРОМ РЕЦЕПЦИИ ЭТИЛЕНА 1-МЦП**

**Шарипова Г.В., Веселов Д.С., Кудоярова Г.Р.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии*

*Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия*

*E-mail: g.v.sharipova@mail.ru*

Регуляция устьичной проводимости — один из наиболее важных процессов в жизни растений, с помощью которого достигается компромисс между экономией воды и фотоассимиляцией углекислого газа в соответствии с условиями окружающей среды. Хорошо из-

вестна роль абсцизовой кислоты (АБК) в закрытии устьиц. Вместе с тем, в тонкой регуляции движения устьиц участвуют другие гормоны. Так есть сведения о способности этилена выступать в качестве антагониста АБК. Однако роль этилена в реакции растений на дефицит воды изучена слабо. В данной работе была исследована продукция этого газообразного гормона растениями пшеницы и чувствительность устьичной реакции к действию ингибитора рецепции этилена (1-МЦП). В норме растения сорта Казахстанская 10 отличались более низким уровнем продукции этилена и соответственно низкой чувствительностью устьичной проводимости к обработке 1-МЦП, а у растений сорта Омская 35 уровень продукции этилена был выше, и также выше была чувствительность устьичной проводимости к 1-МЦП. Закрытие устьиц под влиянием ингибитора рецепции этилена, более выраженное у растений сорта Омская 35 (с высоким уровнем продукции этилена), свидетельствует о способности этилена поддерживать устьица в открытом состоянии (вероятно, за счет противодействия АБК-индуцируемому закрытию устьиц). Дефицит воды, вызванный прекращением полива и засолением, снижал продукцию этилена у растений обоих сортов, причем более сильно ингибирование продукции этилена под влиянием дефицита воды было выражено у растений Омской 35. При этом возрастала чувствительность устьичной проводимости растений сорта Казахстанская 10 к этилену, что проявлялось в появлении различий между обработанными и необработанными МЦП растениями по устьичной проводимости на фоне дефицита воды. Эти результаты свидетельствуют о роли этилена в регуляции устьичной проводимости как при нормальной обеспеченности растений водой, так и при ее дефиците. Регуляция устьичной проводимости реализуется как за счет изменения уровня продукции этилена, так и чувствительности к нему растений пшеницы. Наши данные открывают возможности инновационного подхода к использованию продуцентов этилена и ингибитора его рецепции (разрешенных к использованию в растениеводстве) для манипуляции устьичной проводимостью, а через нее — продуктивностью и засухоустойчивостью растений.

При поддержке гранта Президента РФ МД-3291.2012.4.

## **ДРОП-ОБРАБОТКА РАССАДЫ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ КРУГЛОСУТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ — ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ**

**Шибеева Т.Г., Сысоева М.И.**

*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия  
E-mail: sysoeva@krc.karelia.ru*

Выращивание растений в условиях круглосуточного освещения является одним из путей повышения продуктивности растений и улучшения их качества. Однако, выращивание рассады томатов в условиях круглосуточного освещения при постоянной температуре приводит к развитию хлороза и некроза листьев. Ранее нами установлено, что эффективным методом предупреждения хлороза у томата при непрерывном освещении могут служить ДРОП-обработки — ежесуточные кратковременные снижения температуры.

Целью работы было выявить влияние ежесуточных кратковременных снижений температуры на разных этапах рассадного периода (от появления всходов до пикировки и от пикировки до высадки в теплицу) в условиях круглосуточного освещения на рост, развитие и урожайность томатов в весенне-летнем обороте в теплицах.

Рассаду томатов выращивали в условиях 24 ч фотопериода при освещенности 155 мкмоль/м<sup>2</sup>×с ФАР и температуре (день/ночь) 26/26°С. Часть растений либо на протяжении всего рассадного периода (33 сут), либо в период от появления всходов до пикировки сеянцев (14 сут), либо после пикировки сеянцев до высадки рассады в теплицу (19 сут) ежесуточно в течение 2 ч подвергали действию температуры 10°С. Контролем служили растения, выращенные при фотопериоде 16/8 ч и температуре 26/20°С. Затем растения всех вариантов были высажены в теплицы, расположенные на Агробиологической станции ИБ КарНЦ РАН.

Выращивание рассады при круглосуточном освещении и постоянной температуре привело к развитию хлороза листьев, снижению биомассы растения, увеличению продолжительности периодов от всходов до цветения и до начала созревания плодов, снизило на 50% ранний и на 20% общий урожай по сравнению с контрольными растениями, выращенными в рассадный период в условиях 16 ч фотопериода.

Показано, что ДРОП-обработки в период до пикировки сеянцев оказались неэффективными, а после пикировки — не достаточно эффективными для предотвращения развития хлороза, и урожайность таких растений была ниже, чем у контрольных.

Растения, обработанные ДРОП в течение всего рассадного периода, имели компактную форму и большую биомассу перед высадкой в теплицу при незначительном снижении содержания хлорофиллов, а их показатели скороспелости, ранний и общий урожай не отличались от таковых у контрольных растений. Таким образом, ДРОП-обработки в течение рассадного периода являются эффективным приемом не только для борьбы с хлорозом, но и позволяют получить высокую урожайность.

Работа выполнена при поддержке Минобразования и науки РФ, согл. № 8050.

## **МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ АДАПТАЦИИ И УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ НЕКОТОРЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *PHASEOLUS***

**Штефырцэ А., Брынэ Л., Меленчук М., Алуки Н., Бучачая С.**

*Институт Генетики и Физиологии Растений АНМ, Кишинев, МД 2002, ул. Лесная 20.*

*E-mail: anastasia.stefirta@gmail.com*

В засушливых условиях биологические свойства культуры проявляются на организменном уровне единым адаптационным комплексом физиологических и структурных защитных реакций, обеспечивающих устойчивость растений к дефициту влаги. В течение ряда лет в Институте Генетики и Физиологии Растений АНМ были изучены особенности

морфогенетической адаптации к засухе растений трех видов фасоли: *Phaseolus vulgaris*, *L. Phaseolus acutifolius*, Gray, и *Phaseolus lunatus*, L. с различными стратегиями адаптации и потенциалом устойчивости к засухе. Опыты проводились в контролируемых условиях влажности в Вегетационном Комплексе и на опытных полях при естественной влажности в засушливые и умеренно увлажненные годы. Установлено, что нарушение водного статуса организма в условиях недостаточного увлажнения обуславливает достоверные снижения массы растения, площади и продолжительности жизни листьев, соотношения побег/корень, вегетативные/генеративные органы, растений всех видов взятых в исследовании. Максимальные изменения морфологических параметров были зарегистрированы у представителей чувствительных к засухе растений вида *Phaseolus vulgaris*, L. При этом органы растений проявляют разную степень морфологической пластичности: корневая система в меньшей степени подвергается изменениям в сравнении листьями, стеблями и, особенно, с формированием стручков. Коэффициент чувствительности к засухе корней лимской фасоли во время цветения был 0,66, фасоли тепари—0,78 и обыкновенной фасоли 1,34, тогда как для генеративных органов составлял 1,6; 1,9 и 2,2 соответственно. Отмеченные морфологические изменения являются следствием нарушения ростовых корреляций органов относительно роста целого растения, количественное выражение которых является значение аллометрического коэффициента. У растений чувствительных к засухе обнаружено существенное уменьшение коэффициента пропорциональности, особенно, за счет закладки и роста генеративных органов. Следовательно, засуха обуславливает не простое ингибирование роста растений, а вызывает изменения соотношения органов в массе целого растения с отрицательным эффектом на урожай. Представителям *Ph. lunatus*, L. и *Ph. acutifolius*, Gray свойственны морфогенетические признаки, обеспечивающие преадаптацию к засухе—кутинизированные листья, опушенность, восковой налет, глубоко проникающий стержневой корень, высокая скорость накопления биомассы и формирования листовой поверхности,— ценные качества для селекции продуктивных и устойчивых сортов.

### **ВЛИЯНИЕ ПОДКОРМОК НА ФОРМИРОВАНИЕ АССИМИЛЯЦИОННОГО АППАРАТА ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ И КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ.**

**Шуляковская Т.А., Николаева Н.Н., Ильинова М.К., Запезалова Д.А.**

*Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия*  
*E-mail: tashulyak@gmail.com; nnnikol@krc.karelia.ru*

Изучали влияние двух видов подкормок (азотной и комплексной) на рост и развитие 6-летних саженцев двух форм *Betula pendula* Roth: березы повислой и карельской березы, а также на формирование их ассимиляционного аппарата. Эксперимент проводили на трех группах растений: контрольной (без обработок); с подкормкой азотом в виде  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и с внесением комплекса NPK (азот в виде  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , фосфор— $\text{P}_2\text{O}_5$  и калий— $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Саженцы подкармливали в течение июня—июля в шесть приемов. У карельской березы отмечена более выраженная положительная реакция на уровне листового аппарата (мор-

фометрия, фенология) и побеговых систем (структура, морфометрия, фенология) на обработку комплексным удобрением (NPK), по сравнению с внесением только азота, тогда как у березы повислой выявлена тенденция к положительному реагированию именно на дополнительное внесение азота. В процессе формирования ассимиляционного аппарата листьев провели сравнительный анализ жирнокислотного состава гликолипидов двух форм березы в течение вегетационного периода на тех же участках. Гликолипиды являются доминирующими липидами в мембранах хлоропластов, а главной ЖК в них —  $\alpha$ -линоленовая кислота с тремя двойными связями в молекуле. Известно, что присутствие достаточного количества линоленовой кислоты в липидах хлоропластных мембран существенно для функционирования электрон транспортной цепи и связанного с ней фосфорилирования. В результате подкормок NPK в листьях саженцев карельской березы наблюдали существенный рост содержания линоленовой кислоты в гликолипидах. В связи с увеличением количества линоленовой кислоты повышался индекс ненасыщенности жирных кислот гликолипидов, а также величина соотношения C18-кислот: линоленовой (18:3) и линолевой (18:2). У саженцев березы повислой возрастание соотношения этих ключевых жирных кислот гликолипидов происходило под влиянием азотных удобрений. Увеличение степени ненасыщенности жирных кислот в процессе развития листа связывают с биогенезом хлоропластов, мембраны тилакоидов которых отличаются высокой степенью полиненасыщенности. В целом, по динамике морфометрических, фенологических, метаболических показателей проявляется более заметная реакция карельской березы на комплексное удобрение и березы повислой — на азотное удобрение. То есть две формы одного вида березы по-разному откликаются на внесенные минеральные подкормки.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОНТОГЕНЕЗА, СТАРЕНИЕ ИНДИВИДУУМА И ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ**

**Юсуфов А.Г.**

*Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия*

*E-mail: yusufov\_a.g@mail.ru*

Организация онтогенеза (I) — показатель целостности, компактности и темпов развития (Беклемишев, 1964) в связи с метамерностью и пространственно-временными различиями в формировании структур и продолжительностью жизни (ПЖ) индивидуума. При этом индивидуум формируется с органами, отличающимися пороговой реакцией чувствительности на воздействия (Шмальгаузен, 1968, 1982), асинхронностью старения и взаимодействием функций. Отсюда процессы старения индивидуума и органов (II) лишены самостоятельного адаптивного значения вне связи с I. Естественное старение и отмирание II сопровождается образованием нового потомства из года в год при помощи семян, ускорением оборачиваемости и наследственным обогащением поколений (Дарвин, 1991).

Различны темпы II у цветковых, даже у эфемеров однолетних форм. Общим для индивидуумов растений является ускорение отмирания структур вверх от корней к цветкам в связи с их специализацией. Наибольшей ПЖ характеризуются интактные корни, наи-

меньшей—цветки. Семядоли играют роль в гетеротрофном питании проростков, листья—в последующем автотрофном, цветки—в опылении. Наибольшая ПЖ характерна интактным листьям среднего яруса побега (Кренке, 1950). Эти особенности и определяют различия ПЖ органов.

Замедление развития и экспериментальная задержка цветения положительно влияют на ПЖ, как и отсутствие опыления цветков. Отмирание цветков на соцветии происходит по ярусам, что обусловлено использованием их запасов для других цветков.

Переход органов и структур на другой уровень целостности после укоренения и при самостоятельном культивировании приводит к удлинению ПЖ. При этом не отмечена положительная связь между мощностью корневой системы и ПЖ изолированных структур. Однако даже в этом случае темпы П остаются специфичными и регулируются эндогенно, включая цветковых (Юсуфов, 1988, 1992).

И интактные органы индивидуума целостны. Однако, они не проявляют потенциальную ПЖ, как изолированные и укорененные структуры из-за взаимодействия между собой и наличия контроля I. Последствия эволюции I различны для разных видов (Скрипчинский, 1975), что отражается и на специфике II. Эволюция растений сопровождается повышением целостности I, укорочением ПЖ индивидуума и интактных его органов. В этом и состоит природа различий темпов развития I и II у видов, способствующая и повышению жизнедеятельности индивидуума.

## **ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТОВ ФУРОЛАН И МЕТИОНИН И ИХ КОМПОЗИЦИИ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

**Яблонская Е.К.<sup>1</sup>, Киселева Г.К.<sup>2</sup>, Котляров В.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *ФГБОУ ВПО Кубанский государственный Аграрный Университет, г. Краснодар, Россия*

<sup>2</sup> *ГНУ Северо-кавказский зональный НИИ садоводства и виноградарства*

*Россельхозакадемии, г.Краснодар, Россия*

*: Yablonskay@mail.ru*

В условиях засухи перспективно использование антистрессовых препаратов, повышающих устойчивость растений к водному дефициту. К таким препаратам относится фуролан, малотоксичный регулятор роста, применяемый в микродозах. Актуально использование таких препаратов совместно с такими известными иммуномодуляторами, как метионин.

Цель настоящей работы — изучить синергетический эффект совместного применения препарата фуролан и метионина на рост и развитие растений озимой пшеницы.

Исследования проводили на растениях озимой пшеницы сорта Фортуна селекции Краснодарского НИИ сельского хозяйства. Опыты проводили на базе КФХ ООО «Кубань» Павловского района Краснодарского края. Обработку растений проводили путем опрыскивания водными растворами препаратов в период конец кущения — начало трубкувания.

Норма внесения 5 г/га. Анатомо-морфологические исследования проводили на световом микроскопе «Olympus BX 41» и стереоскопическом микроскопе МБС-10.

Фуrolан в условиях засухи увеличивал высоту растений на 21,7% метионин—108 на 12,4 и их композиция—на 12,1% в сравнении с контролем (43,32 см). Наземная масса растений в варианте с фуrolаном превысила контроль на 6,8 %, с метионином—на 18,4% и их композицией—на 23,2%. Более активный рост растений пшеницы согласовался с увеличением содержания ИУК в варианте с фуrolаном в 4,76 раза, с метионином—в 2,24 раза и их композицией—в 3,12 раза в сравнении с контролем и с большей оводненностью листьев. В контрольном варианте она составляла 76,19%, в варианте с фуrolаном—78,3%, с метионином—72,95%, и их композицией—73,83%. Анатомо-морфологическими исследованиями установлено, что под действием фуrolана и его композиции с метионином листья озимой пшеницы приобретают ряд признаков ксероморфной структуры. Фуrolан увеличивает толщину листовой пластинки на 3%, композиция—на 2,5%, толщину эпидермиса—на 43,8% и 41,9 %, уменьшает длину замыкающих клеток устьиц—на 15,9 и 12,7 %, соответственно, в сравнении с контролем. Соотношение толщины слоев хлорофиллоносной и губчатой паренхимы в контроле составило 1,49:1, в варианте с фуrolаном 1,71:1, с метионином—1,52:1 и с их композицией—1,66:1. Таким образом, фуrolан и его композиция с метионином повышают устойчивость растений озимой пшеницы к засухе, что обусловлено ксероморфной структурой листьев.



**СЕКЦИЯ 3**

**РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОМА  
И ФИЗИОЛОГИЯ ТРАНСГЕННОГО РАСТЕНИЯ**

## GENETIC ENGINEERING OF THE KEY METABOLIC PATHWAYS FOR CROP IMPROVEMENT

**Kershanskaya O.I.**

*Institute Plant Biology and Biotechnology MES RK, Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: gen\_o.kersh@mail.ru*

The next generation of biotech crops promises to include a broad range of products that will provide benefits to both farmers and consumers, and continue to meet the global agricultural challenges. These products will most likely involve regulation of key endogenous plant pathways resulting in improved quantitative traits such as yield, photosynthesis, biotic and abiotic stress tolerance. Genetic engineering of the key metabolic pathways is a powerful tool for crop improvement in new step Biotech in Post-Genomics era. To date, successes in genetic improvement of environmental stress resistance have involved manipulation of a single or a few genes involved in signaling/regulatory pathways or that encode enzymes involved in these pathways. The emergence of the novel 'omics' technologies, such as genomics, proteomics and metabolomics, is now allowing researchers to identify the genetic behind plant stress responses.

Soybean diseases world-wide is one of the serious problems that reduce yield up to 11%–30% of the total production. In many countries disease-control in soybean is limited only by agricultural technologies. The main idea of our project is to improve soybean innate resistance to biotic stresses via genetic engineering of the phenylpropanoid pathway, namely—introduction into soybean key genes involved in lignin biosynthesis,—the compound that is assigned to a broad range of physiological processes participating in plant growth, providing the rigidity to the cell walls, the natural mechanical barrier and defense against pathogen penetration. The general phenylpropanoid metabolism generates an enormous array of secondary metabolites based on the few intermediates of the shikimate pathway as the core unit. In recent years, various excellent reviews summarized the current knowledge on structural genes involved in phenylpropanoid, specifically lignin and flavonoid formation, regulatory transcription factors, hormonal control of the whole pathways by jasmonate or auxin and evolution of pathway genes from primary metabolism.

Proposed approach to soybean diseases combat is included method of molecular cloning and constructing of 2 key from 10 genes involved in lignin biosynthesis: *PAL* and *CCR*, followed by genes identification and sequencing in collaboration with UI, USA; optimization of germ-line genetic transformation technology; screening and molecular detection of transgenes by PCR and RT-PCR analysis; analysis of physiological and biochemical consequences of these valuable genes introduction into soybean; analysis of lignin biosynthesis parameters and metabolic profiling of transgenic plants; analysis of transgenes to micro-pathogens resistance; methods of phenology, morphology, productivity characterization.

Obtained results:

1. Gene constructs of key genes involved in lignin biosynthesis—*PAL* (phenylalanine ammonia lyase), *CCR* (cinnamoyl CoA reductase), *ac*-gene—encoded chitin binding proteins—an-

ti-microfungus, *FeSOD* gene—(Fe-dependent superoxide dismutase—anti-ROS), prepared for introduction into soybean.

2. Optimized genetic transformation technique for soybean transformation and introduction of valuable genes into soybean.

3. Molecular confirmed soybean transgenes with valuable genes. Soybean transgenic seeds of T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub>, resistant to diseases caused by microbial penetration—biotic stresses.

4. Biochemical confirmation of increased lignin biosynthesis. Phenotypic, morphological, and productivity consequences of soybean genetic engineering to stress resistance. Metabolic profiling of soybean transgenes.

So, creation and confirmation of the transgenic soybean plants resistant to biotic stresses will include biotechnological, molecular methods and global metabolic profiling, so transition is achieved from Genome to Phenome in post—Genomics era. The ultimate goal of this work to produce new strains of soybean for breeders and biodiversity with improved biotic and abiotic stress resistance is achieved.

## SUPEROXIDE DISMUTASE ACTIVITY IN TRANSGENIC CANOLA

**Sakhno L.O.<sup>1</sup>, Slyvets M.S.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Cell Biology and Genetic Engineering  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*E-mail: sakhno@icbge.org.ua*

<sup>2</sup> *National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine*

Environmental conditions such as extreme temperatures and/or water stress, especially in combination with high light intensities and some pathogens can cause oxidative stress damages by overproduction of reactive oxygen species. The first enzyme in the detoxifying process is superoxide dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), which converts superoxide radicals to hydrogen peroxide. SOD activity was investigated in mutants and transgenic plants which expressed heterologous *sod* genes of different origin. In recent years, interest has increased to the study of the activity of plant antioxidant enzymes, including SOD, at different stages of plant ontogenesis. Also the specific features of SOD activity were studied in different genotypes within one species. Still little is known about the influence of genetic transformation using other target genes on the activity of this enzyme in transgenic plants.

In the present work SOD activity was investigated in leaves of transgenic canola plants expressing heterologous genes of different origin. The analysed plants were created by using *Agrobacterium tumefaciens*-mediated aseptic leaf disk transformation in the Department of Genetic Engineering of the Institute of Cell Biology and Genetic Engineering NAS of Ukraine and had such genes as: 1) herbicide resistance genes (*bar* and simultaneously *bar* and *epsps*), 2) DesC desaturase (*desC*) gene of cyanobacterium *Synechococcus vulcanus*, 3) human interferon  $\alpha 2b$  gene (*huIFN- $\alpha 2b$* ), 4) *esxA::fbpB<sup>ATMD</sup>* fused gene, which encodes ESAT-6 and Ag85b *Mycobacterium tuberculosis* proteins, inducing immune response against tuberculosis, 5) *cyp11A1* gene of cytochrome P450<sub>SCC</sub> from bovine adrenal cortex mitochondria. It was shown that *cyp11A1* and

*hulFN-α2b* canola have increased leaf SOD activity up 33 % and 25 %, respectively, compared with control ones without stress conditions both *in vitro* and programmable plant growth chamber. In other transgenic plants changes in SOD activity were not observed and introduction of herbicide resistance genes did not affect leaf SOD activity in transgenic canola. Certain (*cyp11A1* and *hulFN-α2b*) genes expression increased SOD activity and may be a prerequisite for improved resistance of plants carrying these genes to the stressors of different origin.

### **ТРАНСКРИПЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ГЕНА 1-ЦИС ПЕРОКСИРЕДОКСИНА В КУЛЬТУРЕ КЛЕТОК ГРЕЧИХИ ТАТАРСКОЙ**

**Акулов А.Н., Горшков О.В., Румянцева Н.И.**

*Федеральное государственное учреждение науки Казанский институт биохимии  
и биофизики Казанского научного центра РАН, Казань, Россия  
E-mail: akulov\_anton@mail.ru*

1-Цис пероксиредоксин относится к группе тиоловых негемовых пероксидаз, катализирующих разрушение перекиси водорода, гидроперекисей липидов и пероксинитритов. Кроме того, есть данные о его сигнальной и шапероноподобной функциях. в растениях 1-Цис пероксиредоксин является стресс-реактивным белком, и его экспрессия усиливается в ответ на различные биотические и абиотические стрессоры. Первичная нуклеотидная последовательность гена 1-Цис пероксиредоксина была выявлена как в морфогенных, так и в неморфогенных культурах гречихи татарской, однако наличие матричной РНК и белкового продукта этого гена в оптимальных условиях культивирования установлено только в морфогенных культурах. Анализ первичной нуклеотидной последовательности гена морфогенных и неморфогенных культур не выявил различий. Цель работы заключалась в определении возможности активации гена 1-Цис пероксиредоксина в неморфогенных культурах гречихи татарской. к появлению мРНК гена 1-Цис пероксиредоксина в неморфогенных культурах приводило их культивирование в течение 7 суток на среде с добавлением абсцизовой кислоты в концентрации 10-20 мкМ. в морфогенных культурах добавление абсцизовой кислоты не влияло на экспрессию гена и она наблюдалась в течение всего времени культивирования. Активация гена в неморфогенных культурах, могла быть связана с усилением окислительного стресса, вызываемого увеличением содержания в клетках абсцизовой кислоты, поскольку содержание внутриклеточной перекиси водорода в при добавлении 20 мкМ абсцизовой кислоты возрастало в 2,2 раза. Важно отметить, что в морфогенных культурах содержание перекиси водорода в 2-2,5 раза ниже, чем в неморфогенных, однако экспрессия гена 1-Цис пероксиредоксина в морфогенных культурах носит конститутивный характер. Можно предположить, что в морфогенных культурах 1-Цис пероксиредоксин может выполнять роль сенсора и участвовать в сигнальных каскадах, в то время как в неморфогенных он необходим для утилизации избытка перекиси водорода и активных форм азота в стрессовых условиях.

## ТРАНСКРИПЦИЯ ПЛАСТИДНЫХ ГЕНОВ ОРГАНИЗОВАННЫХ В ОПЕРОНЫ В МУТАНТЕ ЯЧМЕНЯ ЛИШЕННОМ РНК-ПОЛИМЕРАЗЫ БАКТЕРИАЛЬНОГО ТИПА

Алейникова А.Ю., Зубо Я.О., Кузнецов В.В.

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: anastasia\_ale@mail.ru*

Хлоропласты являются носителями генетической информации наряду с ядром и митохондриями. Однако если в ядре гены являются, главным образом, моноцистронными, то большинство генов в хлоропластах собраны в полицистронные кластеры — опероны. Оперон транскрибируется с общего промотора/ов в виде единой для всех генов оперона молекулы пре-мРНК. Такая регуляция транскрипции напоминает регуляцию транскрипции бактериальных генов. Однако, в отличие от бактерий, пре-мРНК подвергается активному пост-транскрипционному созреванию — процессингу, в ходе которого образуются зрелые мРНК. Кроме того, у хлоропластов, по сравнению с бактериями, возникли новые механизмы регуляции экспрессии генов, в том числе и на уровне транскрипции. К ним можно отнести не только появление внутриоперонных промоторов и генов с интронами, но также наличие двух типов РНК полимераз: мультисубъединичной РНК полимеразы бактериального типа пластидного кодирования (PEP) и моносубъединичной РНК полимеразы фагового типа ядерного кодирования (NEP).

Цель работы заключалась в сравнительном изучении интенсивности транскрипции генов в составе пластидных оперонов у мутанта ячменя *albostrians*, у которого нет РНК-полимеразы пластидного кодирования, и у зеленых растений.

Для изучения интенсивности транскрипции генов, входящих в состав *rps2*, *atpB*, *psaA*, *rrn16* и *rpoB* оперонов, была проведена серия run-on экспериментов на хлоропластах из первого настоящего листа 9-дневных проростков ячменя сорта «Луч», а также на пластидах из белых листьев мутанта ячменя *albostrians*. Пластиды в белых листьях *albostrians* в результате ядерной мутации не имеют рибосом и лишены всех белков пластидного кодирования, в том числе и РНК-полимеразы, поэтому транскрипцию в этих пластидах осуществляет только NEP.

На основании результатов, полученных в этих экспериментах можно сделать вывод, что отсутствие РНК-полимеразы бактериального типа практически никак не влияло на характер транскрипции генов *rpoB* и *psaA* оперонов. Однако были обнаружены значимые изменения в соотношении интенсивности транскрипции генов в *rps2*, *atpB* и *rrn16* оперонах. Это было, вероятно, связано не только с отсутствием рибосом в хлоропластах, и, как следствие, с отсутствием РНК-полимеразы хлоропластного кодирования, но и, возможно, с отсутствием других белков как ядерного так и пластидного кодирования.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-04-00068 а.

**РОЛЬ СУПЕРОКСИДА В ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛА АУКСИНА****Вершинкин Д.А.***Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия**E-mail: davershinkin@yahoo.com*

О роли супероксида в морфологическом ответе растений на ауксин известно давно. Целью данной работы было изучение его роли в передаче первичного сигнала ауксина.

С помощью метода флуоресцентной микроскопии было показано, что в клетках корней 3-дневных проростков *Arabidopsis thaliana* (L.) Col дикого типа под влиянием ауксина (5 мкМ) через 45–60 мин увеличивалось образование  $O_2^-$  в 18 раз. Мониторинг образования супероксида осуществляли проникающим в клетки специфическим к  $O_2^-$  флуоресцентным зондом дигидроэтидием (HE). Интенсивность флуоресценции измеряли в зонах деления и растяжения. Не проникающий в клетки скевенджер  $O_2^-$  — смесь ферментов супероксиддисмутазы и каталазы (СОД (40 Е/мл) — К (200 Е/мл) ингибировал этот эффект ауксина на 46 %.

С помощью ОТ-ПЦР было показано, что супероксид-генерирующие системы: менадион (0,5 мкМ), метилвиологен (0,05 мкМ) и комплекс блеомицин- $Fe^{2+}$  (5 мкМ) усиливали экспрессию генов первичного ответа на ауксин *IAA3* (от 130 до 281 %), *IAA5* (от 1117 до 1496 %) и *IAA9* (от 108 до 306 %) через 4 часа. СОД (40 Е/мл) — К (200 Е/мл), ЕУК-80 (5 мкМ) и ингибитор NADPH-оксидазы DPI (50 мкМ) подавляли эффект ауксина на экспрессию *IAA3*, *IAA5*, *IAA9* на 12–88 %.

Эксперименты по кинетико-ингибиторному анализу на модели 3-дневных проростков трансгенного *Arabidopsis thaliana* (L.) Col. pDR5::*GUS*, показали, что  $O_2^-$  участвует в стадии, предшествующей транскрипции или связанной с ней. Анализируемым параметром служила активность GUS, которую определяли методом флуоресцентной спектроскопии. Точкой отсчета эксперимента служило время внесения ауксина. Экспериментальные варианты отличались временем добавления ингибиторов относительно внесения ауксина. Для определения времени начала синтеза мРНК использовали ингибитор РНК-полимеразы актиномицин D (20 мкг/мл). Время 50 % ингибирования действия ауксинов под влиянием СОД (40 Е/мл) — К (200 Е/мл), ЕУК-80 (5 мкМ) и актиномицин D было 13,6, 14,6 и 15 мин, соответственно.

Фармакологический анализ, проведенный на этой же модели, показал, что менадион (1 мкМ), метилвиологен (0,1 мкМ) и блеомицин- $Fe^{2+}$  (10 мкМ) усилили экспрессию на 18 %, 15 % и 22 %. СОД (40 Е/мл) — К (200 Е/мл), ЕУК-80 (5 мкМ) и DPI (50 мкМ) ингибировали действие ауксина на экспрессию pDR5::*GUS* на 63 %, 64 % и 63 % соответственно. Менадион (10 мкМ) не снимал эффект ингибитора протеасом MG-132 (25 мкМ) на экспрессию pDR5::*GUS* в присутствии ауксина.

Эти результаты позволяют предположить участие супероксида в 26S протеасом-зависимой передаче сигнала ауксина.

**ПРИМЕНЕНИЕ БИОЧИПОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГМО****Вершинкин Д.А.<sup>1</sup>, Гетман И.А.<sup>1</sup>, Чижова С.И.<sup>1</sup>, Грядунов Д.А.<sup>2</sup>, Романов Г.А.<sup>1</sup>**<sup>1</sup> *Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия*<sup>2</sup> *Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта, Москва, Россия**E-mail: gar@ippras.ru*

В начале 1970-х годов была разработана технология рекомбинантных ДНК, позволившая впоследствии создать первые линии ГМ-растений, предназначенных для коммерческого использования. с тех пор количество коммерческих ГМ-линий растений постоянно растет, в связи с чем возникает потребность в оценке риска их использования, что особенно актуально для продуктов питания. в Европейском Союзе (ЕС) введены строгие ограничения по выращиванию трансгенных культур и обязательная маркировка продуктов питания на присутствие трансгенных добавок, если их доля в составе продукта превышает 0.9%. Подобная нормативная база создана и в России. с 12.12.2007 в РФ, в соответствии с поправками в Федеральном Законе от 7.02.1992 № 2300-1 «О защите прав потребителей», предельное, не требующее маркировки, содержание ГМО в продуктах питания—0.9%. Продукты с содержанием ГМО более 0.9% подлежат обязательной маркировке. Вышеуказанная норма введена для защиты прав потребителей и для согласования с нормами ЕС.

В 2003 г., в России впервые в мире был разработан (ИФР РАН совместно с ИМБ РАН) и утвержден в качестве национального стандарта (ГОСТ Р 52174–2003) метод идентификации чужеродных ДНК на основе биочипов. Модифицированный метод на основе биочипов нового поколения выявляет трансгенную ДНК при ее содержании от 0.5%. Этот метод позволяет идентифицировать 11 фрагментов трансгенных элементов: промоторов (*NptII*, *35S CaMV*, *35S FMV*, *Act1*), терминаторов (*Nos*, *35St CaMV*, *RbcS*, *Ocs*) и маркерных генов (*Bar*, *Gus*), что позволяет контролировать все ГМ-линии, разрешенные в РФ. Процедура анализа включает мультиплексную амплификацию, занимающую не более 2.5 часов, и последующую гибридизацию полученных фрагментов на олигонуклеотидном биочипе. Гибридизация может проходить без участия сотрудников в нерабочее время. Анализ результатов производится в автоматическом режиме с использованием специализированного программного обеспечения. Метод на основе биочипов настолько эффективен, что позволяет уже в нынешнем виде выявлять более 80% всех коммерческих ГМ-линий в мире. В дальнейшем планируется расширять набор детектируемых с помощью биочипа трансгенных элементов. Применение данного метода может быть рекомендовано при анализе импортируемой пищевой продукции для выявления ГМ-источников.

Работа выполняется при поддержке Программой Президиума РАН «Живая природа», подпрограммой «Динамика и сохранение генофондов».



**ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ ПЛЕЙОТРОПИЯ *CRY*-ГЕНОВ У *Vt*-РАСТЕНИЙ****Викторов А.Г.***Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН, Москва, Россия**E-mail: aleviktorov@yandex.ru*

Пятнадцатилетнее выращивание трансгенных *Vt*-растений в промышленных масштабах выявило у них ряд непредвиденных свойств, обусловленных плейотропным эффектом  $\delta$ -эндотоксин кодирующих генов. Различия между трансгенными и изогенными линиями и *Vt*-кукурузы и *Vt*-хлопчатника обнаружены по нескольким десяткам признаков и экспрессии примерно такого же количества белков. Многие из этих проявлений оказывают негативное воздействие как на окружающую среду, так и на охраняемые и полезные виды беспозвоночных животных.

**ОСОБЕННОСТИ НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПОВ ОНТОГЕНЕЗА ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА *NICOTIANA TABACUM L.*, ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ГЕНОМ ИНТЕРЛЕЙКИНА-18 ЧЕЛОВЕКА****Гвоздева Е.С., Техриб М.В.***Томский государственный университет, г. Томск, Россия**E-mail: ivanova\_ls@rambler.ru*

Введение новой информации в растительный геном может изменять не только его структурную организацию, но и ключевые события в регуляции экспрессии генов, что приводит к координированным изменениям экспрессии множества других генов, контролирующих рост и развитие растений. Это мало изученная область физиологии, поэтому исследование онтогенеза позволяет понять, как изменяются основные ростовые реакции трансгенных растений.

Нами проанализированы ранние этапы онтогенеза исходной родительской линии SR1 *Nicotiana tabacum L. sv. Petit Havana* (контроль) и двух трансгенных моноинсерционных линий табака IL18№7 и IL18№28, полученных методом агробактериальной трансформации растений табака линии SR1 с применением генетической конструкции, включающей ген интерлейкина-18 человека (*IL-18*), маркерный ген *nptII* и репортерный ген *uidA* в плазмиде pVi101-IL18 (семена растений табака были любезно предоставлены Е.В. Дейнеко — зав. лаб. биоинженерии растений Института цитологии и генетики СО РАН, г. Новосибирск). Растения трансгенных линий гомозиготны, являются потомками 3-го поколения, полученными от самоопыления исходных трансформантов, и отличаются друг от друга локусом встройки генетической конструкции.

Растения выращивали на протяжении 30 дней в условиях гидропоники на среде Кнопа (1/2 состава) с фотопериодом 16/8 часов (день/ночь), интенсивность освещения — I=5,5 тыс. люкс.

На протяжении всего эксперимента отмечали опережающую динамику роста стебля контрольной линии SR1, тогда как наибольшая площадь двух семядольных листьев и настоящих листьев 1-го – 8-го ярусов была у растений табака трансгенной линии IL18№7. Растения трансгенной линии IL18№28 отставали по всем ростовым параметрам от трансгенной линии IL18№7 и контрольной линии SR1.

Таким образом, трансгенез растений табака вероятно может привести изменения в функционирование систем жизнедеятельности, и уже на начальных стадиях онтогенеза проявляются отличия ростовых реакций генетически модифицированных растений как от родительской линии SR1, так и между собой.

## УЧАСТИЕ МЕМБРАННЫХ РЕЦЕПТОРОВ ЦИТОКИНИНА В РЕГУЛЯЦИИ ЭКСПРЕССИИ ХЛОРОПЛАСТНЫХ ГЕНОВ ПРИ СТАРЕНИИ ЛИСТЬЕВ *A. THALIANA*

**Данилова М.Н., Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В., Кулаева О.Н.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового  
Красного Знамени Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, ул.  
Ботаническая, 35, Москва, Россия 127276 тел.: +7(499)2318394, факс: +7(499)231-80-18  
E-mail: MariaDanilova86@yandex.ru*

Известно, что на экспрессию генов гистидинкиназ (ГК), рецепторов цитокинина (ЦК), сам гормон оказывает слабое влияние, что обычно объясняют стабильным присутствием и функционированием белков этой двухкомпонентной системы передачи сигналов независимо от концентрации ЦК. Вместе с тем, показано, что мутации по гену *АНК3 A. thaliana* способны изменять продолжительность жизни листа. в данной работе методом ПЦР в реальном времени после обратной транскрипции изучали влияние мутаций по генам рецепторов ЦК *Arabidopsis* на их экспрессию в процессе естественного старения и при старении срезанных листьев на свету. Одновременно на разных стадиях развития листа оценивали экспрессию гена первичного ответа на ЦК *ARR5*, а также хлоропластных генов *rbcl* и *psbD*, кодирующих большую субъединицу рибулозобифосфаткарбоксилазы, и D2 белок фотосистемы II. в процессе естественного старения, которое оценивали по накоплению мРНК гена-маркера старения *SAG12*, у интактных растений наблюдалось постепенное снижение уровня транскриптов генов *АНК2* и *АНК3*, обеспечивающих восприятие и трансдукцию ЦК сигнала в листьях. Содержание транскриптов этих генов у растений дикого типа и одинарных мутантов на одинаковой стадии развития не отличалось, тогда как двойные мутанты имели повышенный уровень мРНК единственного активного гена *АНК2* для *ahk3/4* и *АНК3* для *ahk2/3*. Обработка ЦК интактных растений слабо влияла на экспрессию генов ГК, но с возрастом приводила к более активному накоплению транскриптов гена *ARR5* в сравнении с контрольным вариантом. в ответ на ЦК усиливалось накопление транскриптов хлоропластных генов у всех исследованных образцов, за исключением мутантов *ahk3*, *ahk2/3* и *ahk3/4*, у которых АНК3 была инактивирована. При старении на свету срезанных листьев в присутствии ЦК все мутанты кроме *ahk2/3*, сохраняли более высокие уровни транскриптов *ARR5* и ГК. Однако у двойных мутантов *ahk2/4* и *ahk3/4* экзогенный гормон подавлял накопление транскриптов генов ГК, кодирующих оставшихся активными АНК3 и АНК2, соответственно. При ускоренном старении на воде, которое сопровождалось накоплением мРНК *SAG12*, мутанты *ahk2* и особенно

*ahk3* обнаружили снижение уровня транскриптов хлоропластных генов *rbcL* и *psbD*. Полученные результаты позволяют предположить, что мембранные рецепторы ЦК принимают участие в задержке ЦК старения листьев и связанной с этим регуляцией экспрессии хлоропластных генов.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 11-04-01008 а.

### **ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ, ЭКСПРЕССИРУЮЩЕЙ ЧУЖЕРОДНЫЕ ГЕНЫ-ИНДУКТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ К ФИТОПАТОГЕНАМ**

**Землянухина О.А., Жужжалова Т.П., Васильченко Е.Н.**

*Всероссийский НИИ сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова РАСХН,  
396030, Воронежская обл., Рамонский р-он, п.ВНИИСС, д.86, Россия  
E-mail: oz54@mail.ru*

Генетическая инженерия позволяет создать гибриды сахарной свеклы, устойчивые к фитопатогенам. Интеграцию чужеродных генов *mf2* и *mf3*, индуцирующих неспецифическую устойчивость к фитопатогенам, проводили путем кокультивирования растительных тканей с *Agrobacterium tumefaciens*, обеспечивающей перенос целевых генов в клетки. Установлены оптимальные условия создания первичных трансформантов. Путем проверки предполагаемых трансгенных растений удалось выделить 7 растений с геном *mf2*, в которых амплифицировался фрагмент ДНК, соответствующий размеру 20 п.н., и 8 растений с геном *mf3* (фрагмент 400 п.н.). ПЦР-анализ растений сахарной свеклы с четырьмя произвольными праймерами выявил значительные отличия опытных растений по сравнению с контролем в виде характерных дополнительных полос в исследуемых образцах. Изучены особенности метаболической адаптации как эпигенетическое следствие интеграции плазмидной ДНК в трансгенные растения сахарной свеклы. Биохимический анализ окислительно-восстановительных ферментов выявил повышение в 1,5-2,5 раза активности пероксидазы и варьирование ее изоферментного спектра у растений-трансформантов. Установлено также повышение активности ферментов ЦТК и глиоксилатного цикла, отражающих уровень энергетических процессов в тканях растений: в 2,0-2,5 у изоцитратлиазы, изоцитратдегидрогеназы, сукцинатдегидрогеназы. Увеличение ферментативной активности в 2,5 раза отмечено при изучении глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, фермента пентозофосфатного цикла. При этом происходит уменьшение  $K_m$  у всех трансгенных форм. Выявленная высокая активность ферментов, играющих ключевую роль при окислительно-восстановительных реакциях, биосинтезе фенолов, процессах лигнификации, имеющая тесную взаимосвязь с защитными реакциями при действии индукторов устойчивости к фитопатогенам (Тютюрев, 2002), по-видимому, обусловлена введением чужеродных генов. Фитопатологическая оценка в условиях закрытого грунта выявила устойчивость отобранных растений-трансформантов к фузариозным гнилям (обработка споровой суспензией *Fusarium solani* + *Fusarium oxysporum* и культуральной жидкостью этих грибов). Через 2-3 месяца у контрольных растений наблюдалось отставание в развитии по сравнению с опытными образцами. Происходило появление некротических пятен, скручивание и пожелтение листьев и их частичное отмирание, а при воздействии культуральной

жидкости через 2-3 дня наблюдалось увядание и полная их гибель. Созданные трансгенные формы сахарной свеклы с неспецифической устойчивостью к фитопатогенам могут найти широкое применение в селекции сахарной свеклы.

## ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ У ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ЭНДИВИЯ С ГЕНОМ ИНТЕРФЕРОНА ЧЕЛОВЕКА

**Кваско Е. Ю., Матвеева Н. А.**

*Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина  
E-mail: kvasko.olena@gmail.com*

Создание трансгенных растений началось около 30 лет назад и сегодня такими растениями занято около 160 млн га (ISAAA, 2011 г.). Вместе с тем, актуальными являются вопросы безопасности выращивания этих растений для окружающей среды, здоровья человека и животных. Также в результате генетической трансформации могут изменяться физиологические и биохимические характеристики растений, причем некоторые изменения свойственны стрессовому состоянию организма.

В данной работе изучено изменение абсолютной скорости роста (АСР), содержания общего растворимого белка (СОРБ), полифруктанов (ПФ), активности антиоксидантной системы (АОА) и фермента супероксиддисмутазы (СОД) у трансгенных растений эндивия *Cichorium endivia* L. с геном интерферона- $\alpha 2b$  человека (*ifn- $\alpha 2b$* ) и *bar*. АСР определяли как изменение массы растений за сутки; СОРБ — методом Бредфорда, ПФ — методом Селиванова; АОА — Семенова, Ярош; активность СОД — по методу Giannopolities, Ries.

Определение АСР показало, что трансгенные растения быстрее накапливают биомассу ( $5,8 \pm 0,85$ — $12,4 \pm 0,56$  мг/сутки), чем контрольные растения ( $4,63 \pm 1,25$  мг/сутки). Содержание общего растворимого белка у трансгенных растений достоверно не отличалось от контроля. Изучение содержания ПФ в корнях и листьях растений эндивия показало, что контрольные растения имеют меньшее содержание этих соединений. Так, содержание ПФ в трансгенных растениях составляло  $17,97 \pm 2,28$ — $24,40 \pm 3,88$  мг/г влажной массы (корни) и  $6,40 \pm 0,74$ — $8,20 \pm 1,24$  мг/г массы (листья), что является соответственно в 1,61-2,19 и 1,74-2,23 раз больше по сравнению с контролем. АОА и активность СОД растений эндивия с генами *ifn- $\alpha 2b$*  и *bar* существенно превышает активность контрольных растений — в 2,21-2,77 и 1,67-2,34 раза соответственно. Достоверность полученных данных подтверждена с помощью дисперсионного анализа.

Таким образом, трансгенные растения *Cichorium endivia* L. с генами *ifn- $\alpha 2b$*  и *bar* быстрее накапливают биомассу, синтезируют большее количество полифруктанов, имеют повышенную активность антиоксидантной системы, в том числе фермента супероксиддисмутазы. Вероятно, стрессовая реакция на перенесение трансгенов в геном растений эндивия выражается именно в увеличении указанных параметров вследствие интенсификации процессов метаболизма. Вместе с тем, в содержании общего растворимого белка изменений по сравнению с контролем отсутствуют. Вероятно, белковые системы ответа на стрессовый фактор остаются незадействованными.

**ВВЕДЕНИЕ ГЕНА *PHYV* АРАБИДОПСИСА ПОВЫШАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ  
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ  
*SOLANUM TUBEROSUM* К УФ-Б ОБЛУЧЕНИЮ**

**Креславский В.Д.<sup>2,1</sup>, Кособрюхов А.А.<sup>1</sup>, Константинова Т.Н.<sup>2</sup>,  
Голяновская С.А.<sup>2</sup>, Аксенова Н.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт фундаментальных проблем биологии РАН, г. Пущино, Россия*

<sup>2</sup>*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: vkreslav@mail.ru*

Известно, что увеличение содержания фитохрома в повышает устойчивость фотосинтеза у трансгенного картофеля к видимому свету высокой интенсивности. Ранее было обнаружено, что картофель, который экспрессирует трансген *PHYV*, отличается повышенной устойчивостью к облучению УФ-Б. Предполагается, что одной из причин повышенной устойчивости являются морфологические особенности трансформированных растений. в представленной работе исследовали влияние суперэкспрессии фитохрома в на устойчивость фотосинтетического аппарата к УФ-Б радиации.

Объектам исследований служили растения картофеля *Solanum tuberosum* сорта Дезире (нетрансформированные растения, НТ) и полученные на их основе трансгенные линии ( $D_5$  и  $D_{12}$ ) с геном *PHYV* арабидопсиса под контролем промотора *35S CaMV*. При этом линия  $D_{12}$  имеет более высокий уровень экспрессии трансгена, чем линия  $D_5$ . Растения облучали УФ-Б с помощью лампы ЛЭ-30-1, излучающей в диапазоне длин волн 280-380 нм (максимум 315 нм). Интенсивность УФ-излучения на уровне листьев — 12 Вт м<sup>2</sup>, время облучения 45 мин. Газообмен CO<sub>2</sub> измеряли с помощью инфракрасного газоанализатора (LSPPro+), соединенного с листовой камерой. Миллисекундную замедленную флуоресценцию (ЗФл) хлорофилла *a* регистрировали с использованием фосфороскопа. Для регистрации применяли компьютер с аналого-цифровым преобразователем (L-783, L-Card). Использовали верхние полностью развитые листья растений.

У необлученных растений не найдено существенных различий между вариантами НТ,  $D_5$  и  $D_{12}$  по скорости фотосинтеза, по характеристикам ЗФл и содержанию фотосинтетических пигментов на 1 г сырой массы. Содержание пигментов в расчете на 1 см<sup>2</sup> было выше у трансформированных растений. Облучение УФ-Б снижало скорость фотосинтеза у всех растений. Уменьшение скорости фотосинтеза у НТ варианта составило (в разных опытах) 35-39%, тогда как у  $D_{12}$  только 18-20%. Облучение УФ-Б уменьшало амплитуды быстрой и медленной компоненты ЗФл, что связано со снижением эффективности функционирования фотосистемы 2. Снижение максимальной амплитуды медленной компоненты ЗФл было заметно меньше у  $D_{12}$  варианта (15%), чем у НТ (31%). Линия  $D_5$  по показателям устойчивости фотосинтеза к УФ-Б была близка к контролю. Сравнение устойчивости к УФ радиации препаратов тилакоидных мембран у  $D_{12}$  и нетрансформированного контроля не выявило заметной разницы.

Таким образом, обнаружено повышение устойчивости фотосинтетического аппарата растений картофеля, активно экспрессирующих ген *РНУВ* арабидопсиса, к УФ-Б радиации.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСГЕННЫХ ЛИНИЙ АРАБИДОПСИСА, ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ВАКУОЛЯРНЫЙ АНТИПОРТЕР ЯЧМЕНЯ *HvNHX2***

**Кривошеева А.Б.<sup>1</sup>, Беляев Д.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физиологии растений им.К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия*

*E-mail: positive.melody@mail.ru*

Устойчивость растений к засолению в значительной степени определяется способностью клеток поддерживать высокое отношение  $K^+/Na^+$  в цитоплазме, что обеспечивается согласованной работой протонных насосов, ионных каналов и транспортеров  $K^+$  и  $Na^+$ , среди которых несомненно важную роль играют *NHX*—антипортеры тонопласта. в данной работе были исследованы полученные нами ранее 5 гомозиготных трансгенных линий *A.thaliana* экотипа *Wassilewskija*, экспрессирующие ген вакуолярного *NHX*—антипортера ячменя *HvNHX2*.

В данных линиях были проанализированы уровни мРНК *HvNHX2* с помощью Нозерн-блот гибридизации с <sup>32</sup>P-мечеными зондами. Затем были проведены тест на всхожесть и корневой тест при действии 150 мМ NaCl, которые показали бóльшую солеустойчивость трансгенных растений по сравнению с нетрансформированными растениями. Например, всхожесть линии 49 с наиболее высоким уровнем экспрессии целевого гена *HvNHX2* в стрессовых условиях составила 67,54±1,24% на седьмой день эксперимента, в то время как для контрольных нетрансформированных растений это значение было 49,72±3,76%. Корневой тест показал, что угнетение длины корня при 150 мМ NaCl для линии 49 составило 66,08±3,51%, а для контрольных растений 79,52±1,03%.

Далее был проведен эксперимент по модельному созданию засоления в твердом грунте, когда 6-недельные растения трансгенных линий и контрольные нетрансформированные растения подвергались поливу с интервалом 3 дня, первые три раза поливали дистиллированной водой с добавлением 50, 100, 150 мМ NaCl, затем два раза поливали водой без добавления соли, снимали эксперимент на 16 день после начала. Определяли сырую и сухую массу розетки листьев, оводненность, содержание ионов калия, ионов натрия и пролина. Необходимо отметить, что растения со вставкой трансгена росли активнее нетрансформированных как в контрольных, так и в стрессовых условиях. Достоверных отличий между трансгенными и нетрансформированными растениями в накоплении ионов натрия и пролина отмечено не было. У трансгенных линий с более высокой экспрессией *HvNHX2* были более оводнены листья, а также было более высокое содержание ионов калия при повышенном содержании NaCl в грунте. Например, растения линии 49 содержали



54,35±6,17 мкмоль/г сырой массы листьев в стрессовых условиях, а нетрансформированные — 30,41±5,31 мкмоль/г сырой массы листьев, что говорит о способности трансгенной линии, экспрессирующей ген *HvNHX2*, поддерживать при засолении более высокое отношение  $K^+/Na^+$ , чем нетрансформированный контроль.

## ГЕНЫ РЕЦЕПТОРОВ ЦИТОКИНИНА И ИХ РОЛЬ В РЕГУЛЯЦИИ ОТВЕТА *ARABIDOPSIS THALIANA* НА СВЕТОВОЙ СТРЕСС

Кудрякова Н.В., Данилова М.Н., Кузнецов В.В., Кулаева О.Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Ордена Трудового Красного Знамени*

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, ул. Ботаническая, 35,  
Москва, Россия 127276, тел.: +7(499) 231-83-94, факс: +7(499) 977-80-18*

*Email: nkudryakova@rambler.ru Кудряковой Н.В.*

Фитогормоны, являясь эндогенными регуляторами различных программ онтогенеза, принимают непосредственное участие в формировании устойчивости растений к стрессу. Удобной модельной системой, позволяющей анализировать роль цитокининов (ЦК) в экспрессии ядерных и пластидных генов в условиях стрессовых воздействий, являются мутанты *A. thaliana* с инактивированными генами гистидинкиназы (ГК), мембранных рецепторов ЦК. Нами показано, что мутации по генам ГК способны изменять накопление антоцианов в срезанных листьях *A. thaliana* в условиях мягкого фотостресса, создаваемого при постоянном освещении интенсивностью  $270 \mu\text{E m}^{-2}\times\text{c}^{-1}$  в течение трех суток. При этом наибольшее содержание пигментов отмечено у мутантов по гену *AHK3*. Инкубация срезанных листьев на растворе транс-зеатина ( $5\times 10^{-6}\text{M}$ ) существенно подавляла накопление антоциана в ответ на световой стресс у растений дикого типа и у мутантов с неповрежденным геном *AHK3* и, согласно результатам анализа методом ПЦР в реальном времени после обратной транскрипции, сопровождалась снижением уровня транскриптов гена биосинтеза антоцианов — *ANS*. Параллельно у всех образцов, за исключением мутантов *ahk3*, *ahk2/3* и *ahk3/4*, инкубация на растворе ЦК приводила к уменьшению содержания пролина и повышению уровня транскриптов гена альтернативной оксидазы *AOX1a*, которые являются маркерами окислительного стресса. в листьях, выдерживаемых на воде в условиях фотостресса, наблюдалось также увеличение содержания транскриптов гена первичного ответа на ЦК типа А *ARR5* по сравнению с контрольными образцами (инкубация на воде в условиях рассеянного света при  $100 \mu\text{E m}^{-2}\times\text{c}^{-1}$ ), но подавлялась экспрессия генов ГК *AHK2* и *AHK3*. Транс-зеатин усиливал накопление мРНК *ARR5* в листьях дикого типа и всех мутантов, а также способствовал сохранению повышенных уровней транскриптов хлоропластных генов *rbcL* и *psbD*, кодирующих большую субъединицу рибулозобифосфаткарбоксилазы, и D2 белок фотосистемы II. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о возможном влиянии участников двухкомпонентной системы передачи ЦК сигнала в защитных реакциях растения на фотостресс и пре-



обладающем вкладе основной ГК листьев—АНКЗ и подтверждают протекторную роль этого гормона в реализации стрессовых программ растений.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 11-04-01008 а.

## **ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ НИЗКО- И ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ФРАКЦИЙ ФРУКТАНОВ КОРНЯМИ ТРАНСГЕННОГО ЦИКОРИЯ**

**Мазник К.С., Матвеева Н.А.**

*Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина  
E-mail: solieri@ukr.net*

В работе была исследована динамика накопления низко- и высокомолекулярных фракций фруктанов в корнях трансгенных растений и культура «бородатых» корней цикория *Cichorium intybus* L. сорта Пала росса. Растения и корни были получены путем агробактериальной трансформации векторными конструкциями pCB161 (целевой ген интерферона *a2b* человека и селективный ген—*nptII*), pCB158 (гены *esxA* и *fbpB* которые кодируют синтез туберкулезных антигенов ESAT6, Ag85B и ген *nptII*), а также диким штаммом *Agrobacterum rhizogenes* A4.

Все отобранные при селекции линии анализировали по трем основным параметрам: динамика прироста массы, накопления низкомолекулярной фракции (НМФ) и высокомолекулярной фракции (ВМФ) фруктанов. Параметры определяли через 2, 4 и 6 недель выращивания в условиях *in vitro* на агаризованной безгормональной среде Мурасиге и Скуга 1/2 MS с уменьшенным вдвое содержанием макроэлементов

Полученные в результате трансформации одной и той же векторной конструкцией линии «бородатых» корней отличались как по скорости роста. Так и по содержанию фруктанов. Это обусловлено тем, что каждая линия является отдельным трансформационным событием, потому целевые гены могут встраиваться в разные локусы. Тем не менее, во всех случаях трансформация привела к увеличению скорости прироста массы корней, а у некоторых линий — к значительному увеличению уровня накопления фруктанов.

Путем иерархического кластерного анализа с помощью программы Systat 10.2 было установлено, что трансгенные корни цикория накапливают ВМФ на ранних этапах выращивания (в течении первых двух недель). на более поздних этапах (через 4-6 недель) уровень накопления ВМФ уменьшается и наблюдается активный рост корня вместе с повышением уровня накопления НМФ.

При выращивании трансгенных растений цикория, регенерированных из «бородатых» корней было установлено, что через шесть недель выращивания прирост массы корня меньше, чем прирост массы исходных бородатых корней (соответственно 40-60 мг и до 200 мг). Удельный уровень накопления ВМФ приблизительно такой же (до 50-60 мг/г высушенного корня), уровень накопления НМФ почти в 2 раза меньше (до 110 мг/г).

Таким образом, с целью получения фруктанов более технологичным есть выращивание именно «бородатых» корней. в результате исследования определена линия бородатых корней, которая уже через 4 недели выращивания (при начальной массе корня 2 мг) накопила около 5,5 мг ВМФ и 26 мг НМФ. Это делает ее перспективной для использования в биотехнологии с целью получения фруктанов.

### **АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНОВ РАСТЕНИЙ**

**Мустафаев О.<sup>1</sup>, Тюрин А.А.<sup>2</sup>, Бердицевец И.Н.<sup>1</sup>, Шимшилашвили Х.Р.<sup>1</sup>,  
Вячеславова А.О.<sup>2</sup>, Голденкова-Павлова И.В.<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*<sup>2</sup>Российский государственный аграрный университет —  
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия  
E-mail: irengold58@gmail.com*

В настоящее время трансгенные растения широко используются в качестве моделей как для фундаментальных исследований для изучения физиологической роли генов, так и для решения прикладных задач по созданию устойчивых форм сельскохозяйственных культур и продукции рекомбинантных белков в растениях. Успех в этом направлении, прежде всего, связан с эффективностью экспрессии перенесенного гена (трансгена) в растениях, которая контролируется на разных этапах: транскрипции, процессинга и сплайсинга РНК, трансляции и стабильности белкового продукта. в связи с этим биоинформационный анализ структурных и функциональных характеристик генов растений и последующая экспериментальная верификация выявленных закономерностей являются весьма актуальными.

Нами создана база данных о секвенированных геномах растений, включающая в себя и экспрессионные данные, а также разработано программное обеспечение, позволяющее формировать произвольные выборки нуклеотидных последовательностей генов с целью их дальнейшего анализа по различным параметрам. Структурно-функциональный анализ последовательностей генов растений позволил выявить ряд генетических детерминант, которые потенциально могут влиять на эффективность экспрессии гетерологичных генов. Полученные данные биоинформационного анализа использованы для конструирования серии модульных векторов, в которых учтено большинство факторов, обеспечивающих стабильную и эффективную экспрессию трансгенов в растениях.

Экспериментальная верификация функциональной значимости генетических детерминант, потенциально влияющих на уровень экспрессии гетерологичных генов была проведена с использованием транзientной экспрессии и сконструированных модульных векторов.

Показано, что оптимальное окружение иницирующего кодона, размер и состав 5'-нетранслируемой области, а также кодоновый состав гетерологичного гена вносят значимый вклад в увеличение эффективности экспрессии гетерологичных генов в растениях.

Таким образом, нами продемонстрировано, что разработанное программное обеспечение позволяет выявлять фундаментальные закономерности, влияющих на профиль экспрессии гена, на основе данных анализа их последовательности с последовательностями генов, имеющих сходные функции, а экспериментальная верификация с использованием модульных векторов и транзientной экспрессии оценить эффективность экспрессии гетерологического гена.

## **ИЗУЧЕНИЕ РАЗНООБРАЗИЯ МИКРОРНК МЕТОДОМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ В РАСТЕНИЯХ *THELLUNGIELLA SALSUGINEA* В НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ СТРЕССЕ**

**Пашковский П.П.<sup>1</sup>, Рязанский С.С.<sup>2</sup>, Кузнецов Вл.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия.*

<sup>2</sup> *Институт молекулярной генетики РАН, Москва, Россия.*

*E-mail: pashkovskiy.pavel@gmail.com*

В последние годы интенсивно развивается изучение коротких, некодирующих РНК, способных регулировать экспрессию генов. в нашей работе мы изучаем биологическую роль одного из классов коротких РНК растений—микроРНК (миРНК). Их длина составляет 21-23 нт и они способны в комплексе с белками Argonaute связываться с комплементарной мРНК-мишенью белок-кодирующих генов и вызывать подавление их экспрессии через деградацию или ингибирование трансляции мРНК.

Одним из быстро развивающихся методов изучения миРНК является метод глубокого секвенирования третьего поколения (NGS), который позволяет быстро и точно определять последовательность миРНК и пре-миРНК, а также измерять их количества. с помощью этого метода мы изучили разнообразие миРНК в растении *Thellungiella salsuginea*. Удалось показать, что в нормальных условиях экспрессируется 42 семейства известных миРНК, насчитывающих 110 представителей. Также было обнаружено 8 новых микроРНК экспрессирующихся только в *Th. salsuginea*; отличие от *Arabidopsis thaliana* составляют 7,2%. Было показано, что интенсивнее всего в нормальных условиях экспрессируются микроРНК связанные с регулированием генов транскрипционных факторов *HD-ZIP*, *MYB*, *SBP*, а в меньшей степени экспрессируются миРНК связанные с регулированием факторов восприятия ауксинового сигнала, экспрессия которых активируется при действии стрессов различной физиологической природы (NaCl, свет различного спектрального состава).

В основном, мишенями миРНК растений *Th. salsuginea* являются гены транскрипционных факторов и компонентов сигнальных гормональных путей. Регуляция их активности необходима не только для роста и развития, но и для оперативной реакции растений на различные виды стрессов.

**ВЛИЯНИЕ РЕДОКС-СОСТОЯНИЯ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ МИТОХОНДРИЙ  
*ARABIDOPSIS THALIANA* НА ТРАНСКРИПЦИЮ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОВ**Потапова Т.В.<sup>1,2,3</sup>, Зубо Я.О.<sup>1\*</sup>, Ямбуренко М.В.<sup>1\*</sup>, Константинов Ю.М.<sup>1,2,3</sup>, Бернер Т.<sup>1</sup><sup>1</sup>*Institute für Biologie/Genetik, Humboldt-Universität zu Berlin,  
Chaussestr., 117, 10115, Berlin, Germany*<sup>2</sup>*Сибирский институт физиологии и биохимии СО РАН,  
ул. Лермонтова, 123, Иркутск, 664033, Россия*<sup>3</sup>*Иркутский государственный университет, ул. Сухэ-Батора, 5, Иркутск 664033, Россия**\* Current address — Dartmouth College, 78 College st., Hanover, NH, 03755, USA**E-mail: yukon@sifibr.irk.ru*

Митохондрии высших растений характеризуются рядом особенностей, в частности, наличием системы нефосфорилирующего дыхания, представленной цианид-резистентной альтернативной оксидазой (АО). АО играет роль «шунта», предотвращая возникновение сверхвосстановленного состояния цитохромного пути транспорта электронов и снимая риск возрастания уровня образующихся в дыхательной цепи активных форм кислорода. в данной работе с использованием метода run-on транскрипции в изолированных митохондриях растений *Arabidopsis thaliana* предпринята попытка выяснить влияние редокс-состояния двух электрон-транспортных цепей (ЭТЦ) митохондрий (цитохромного пути и альтернативной оксидазы) на транскрипцию митохондриальных генов растений арабидопсиса. Установлено, что обработка срезанных побегов арабидопсиса в водном растворе такими ингибиторами ЭТЦ как антимицин А (АА) и цианид калия (KCN), а также таким ингибитором АО как салицигидроксамовая кислота (SHAM) оказывает совершенно различный эффект на скорость транскрипции митохондриальных генов. При ингибировании АО с помощью SHAM обнаружена значительная активация скорости митохондриальной транскрипции, тогда как обработка растений АА и KCN вызывала существенное снижение скорости транскрипции. Такой результат позволяет предположить, что в случае нарушения активности АО, ее функции, связанные с окислением избытка поступающих в результате фотосинтетической активности хлоропластов восстановительных эквивалентов, может брать на себя основная электрон-транспортная цепь митохондрий. Установлено более сильное подавление скорости транскрипции митохондриальных генов при обработке проростков KCN по сравнению с АА. Такой результат можно объяснить более восстановленным состоянием дыхательной цепи органелл при действии KCN по сравнению с антимицином А. Данный факт свидетельствует, таким образом, в пользу существования системы редокс-регуляции экспрессии митохондриальных генов, воспринимающей сигналы от разных участков дыхательной цепи. Предположено, что в растительных митохондриях существует регуляторный механизм, который координирует работу цитохромной ЭТЦ и альтернативной оксидазы. Как следует из полученных результатов, ингибирование альтернативной оксидазы сопровождается существенной активацией транскрипции митохондриальных генов, направленной на синтез белковых компонентов цитохромного пути дыхания. По-видимому, такой ответ митохондриальных генов направлен на обеспечение повышенного потока электронов через основную дыхательную цепь.

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, КОДИРУЮЩИХ ПРОТОННЫЕ ПОМПЫ ПЛАЗМАЛЕММЫ И ТОНОПЛАСТА, В ХОДЕ РОСТА РАСТЯЖЕНИЕМ

**Прокопьева Ю.П., Тинчжо Ч., Кирпичникова А.А., Шишова М.Ф.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: mshishova@mail.ru*

Способность многократного увеличения размеров клетки, называемая ростом растяжением — уникальное свойство большинства растительных клеток. Она является важнейшим этапом онтогенеза и находится под контролем целого ряда факторов: генетических, гормональных, метаболических и т.д. Рост растяжением можно рассматривать как один из примеров смены морфогенетической программы развития и, следовательно, расшифровка многообразных механизмов инициации и последующей регуляции этого процесса является одной из важнейших проблем современной биологии растений.

Активное участие  $H^+$ -АТФазы плазмалеммы в процессе роста растяжением стало аксиомой физиологии растений с конца 70х годов прошлого столетия. Согласно современным представлениям регуляция ее активности может осуществляться как на транскрипционном, так и на пост-транскрипционном уровнях. Данный транспортер является неотъемлемой частью протонной сигнальной системы, наряду с  $H^+$ -АТФазой и  $H^+$ -пирофосфатазой тонопласта. Кодирование и механизмы регуляции последних изучены недостаточно. Данное исследование было нацелено на сравнительный анализ интенсивности транскрипции генов, кодирующих протонные насосы плазмалеммы и тонопласта, в ходе роста растяжением клеток этиолированных проростков *Arabidopsis thaliana*.

Полученные данные на транскрипционном уровне полностью подтвердили предложенную ранее модель изменения активности протонных насосов:

- переход к росту растяжением характеризуется интенсивной экспрессией гена *AVP1*, кодирующего вакуолярную пирофосфатазу, а также генов семейства *АНА*, относящихся к подсемейству II.

- переход к активному росту растяжением сопровождается снижением экспрессии гена *AVP1*, а также еще большим усилением работы генов семейства *АНА*. Значимого усиления экспрессии генов, кодирующих субъединицы вакуолярной  $H^+$ -АТФазы выявлено не было.

- завершение роста растяжением сопровождается ослаблением экспрессии гена *AVP1*, незначительным снижением экспрессии генов семейства *АНА* и усилением экспрессии генов *VНА*, что коррелирует с усилением роли вакуолярной системы в ходе дальнейшего развития ювенильного проростка.

Работа поддержана РФФИ 13-04-00945-а, НИР СПбГУ № 1.38.67.11.

## ИЗМЕНЕНИЯ В СОДЕРЖАНИИ И СОСТАВЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ТРАНСФОРМАЦИИ *IN VITRO* КУЛЬТИВИРУЕМЫХ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ ГЕНАМИ РАЗЛИЧНЫХ ДЕСАТУРАЗ

**Прядехина Е.В., Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Гончарук Е.А.,  
Юрьева Н.О., Загоскина Н.В.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии  
растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия  
E-mail: phenolic@ippras.ru*

Одним из активно развивающихся направлений современной физиологии растений является использование методов генной инженерии для трансформации растений, в том числе сельскохозяйственных культур промышленного назначения, с целью повышения их устойчивости к действию стрессовых факторов. и в этом плане перспективно использовать гены ацил-липидных десатураз, в том числе  $\Delta 9$  и  $\Delta 12$ -десатуразы (*desC* и *desA*, соответственно), отвечающих за образование двойных углеводородных связей в липидах мембран.

Для высших растений характерно образование фенольных соединений (ФС), функции которых чрезвычайно разнообразны и связаны с процессами фотосинтеза, дыхания, защиты от действия стрессовых факторов и др. Столь широкий спектр биологической активности может быть следствием их большого структурного разнообразия.

Целью нашего исследования являлось сравнение содержания и состава фенольных соединений в листьях контрольных и трансформированных генами *desC* и *desA* растений картофеля, культивируемых *in vitro*.

Растения исходного картофеля (*Solanum tuberosum* L., раннеспелый сорт Скороплодный) и его трансгенные линии культивировали в коллекции ИФР РАН (Москва) при 22°C и 16-часовом фотопериоде на агаризованной питательной среде Мурасиге-Скуга, содержащей 2% сахарозы. Последовательность генов *desC* и *desA* была трансляционно слита с последовательностью репортерного гена *LicBM3*, кодирующего термостабильную лихеназу.

В листьях, срезанных со срединной части растений, спектрофотометрическим методом анализировали содержание ФС и флавоноидов (ФЛ), используя реактив Фолина-Дениса и  $AlCl_3$ , соответственно. Состав ФС исследовали методом ТСХ на целлюлозе, используя систему: *n*-бутанол–уксусная кислота–вода (4:1:5, верхняя фаза). Идентификацию ФС проводили по специфической флуоресценции в УФ-свете, качественным реакциям на различные классы ФС и денситометрическому исследованию при 280 нм и 330 нм, соответствующим значениям основных максимумов поглощения ФС и фенолкарбоновых кислот, соответственно.

Установили, что у трансгенных растений (ТР), особенно несущих ген *desC*, накопление ФС, в том числе и основных их компонентов -ФЛ, выше, чем в контроле. Спектр синтезируемых ими ФС также более разнообразен. При этом во всех случаях обнаружены флавонолы (ФЛ), в том числе рутин, и, согласно предварительным данным, конъюгаты ванилиновой кислоты. Все это свидетельствует о том, что трансформация растений картофеля генами десатураз сопровождается изменениями в биосинтезе ФС, в том числе и ФЛ.

**НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С АНТИОКСИДАНТНЫМИ СВОЙСТВАМИ В ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЯХ РАПСА (*BRASSICA NAPUS L.*) СО ВСТРОЕННЫМ ГЕНОМ *OSMYB4* ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ**

**Ралдугина Г.Н.<sup>1</sup>, Марей М.М.<sup>2</sup>, Гомаа А.М.<sup>2</sup>, Букарев Р.В.<sup>1</sup>, Шумкова Г.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им.К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

E-mail: galina@ippras.ru

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Сравнивали накопление обладающих антиоксидантными свойствами органических соединений трансгенными растениями рапса, содержащими выделенный из генома растений риса встроенный ген *Osmyb4*, под действием пониженной температуры и солей тяжелых металлов (ТМ). Белок, кодируемый этим геном, является транскрипционным фактором, отвечающим за различные биохимические изменения, происходящие с растениями во время адаптации к неблагоприятным условиям окружающей среды. Исследования проводили на трансгенных растениях (ТР) второго поколения, размножаемых вегетативно *in vitro*. в качестве контролей использовали нетрансформированные растения рапса (НТР) сорта Westar, полученные через регенерацию. Размноженные черенкованием трансгенные и нетрансформированные растения были высажены в сосуды с жидкой средой Хогланда-Снайдерс. При достижении растениями размера 5–6 листьев на растения воздействовали различными стрессовыми факторами: солями  $ZnSO_4$  (500–5000 мкМ) или  $CuSO_4$  (25–150 мкМ), а также пониженной температурой +4°C. Содержание в растениях растворимых фенолов, флавоноидов и антоцианов при действии охлаждения определяли на 5-е сут., а при действии сульфата меди и цинка определения проводили на 7-е сут. Для анализов брали 3-й или 4-й лист сверху. Было показано, что у НТР содержание фенольных соединений и антоцианов в процессе адаптации нетрансгенных растений к холоду (4°C) изменялось незначительно, возрастая на 40–50%, тогда как воздействие солей тяжелых металлов способствовало большему накоплению этих соединений (в 2–2,5 раза). У ТР накопление всех фенольных соединений под воздействием как охлаждения, так и солей повышалось в 3–4 раза. Однако при сравнении аккумуляции этих соединений при действии пониженной температуры и сульфатов солей ТМ было видно, что охлаждение вызывало значительно большую разницу в накоплении изучаемых соединений у ТР и НТР, чем действие солей. Под действием охлаждения накопление было выше приблизительно в 3 раза, тогда как под действием солей только в 1,5–2 раза. Этот эффект может быть объяснен тем, что используемый трансген был поставлен под холодоиндуцируемый промотор *cor*, который в меньшей степени индуцируется другими факторами. Таким образом, было показано, что как в процессе адаптации к низкотемпературному стрессу, так и при действии солей ТМ растения рапса с гетерологической суперэкспрессией *Osmyb4* гена обнаруживали способность к интенсивной аккумуляции общих фенолов и флавоноидов, а также антоцианов, соединений, обладающих мощным антиоксидантным эффектом и способствующим лучшему росту растений под воздействием стрессовых факторов.



**ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕМНОВОГО ДЫХАНИЯ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТОМАТА,  
ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ FE-ЗАВИСИМУЮ СУПЕРОКСИДИДИСМУТАЗУ**

**Серенко Е.К., Аканов Э.Н., Чеботарева И.Б., Куренина Л.В.,  
Гулевич А.А., Баранова Е.Н.**

*Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
биотехнологии Россельхозакадемии, Москва, Россия  
E-mail: greenpro2007@rambler.ru*

Для отработки методики использовали как полученные нами ранее трансгенные по FeSOD1, так и контрольные растения томата. Конструкция использованная при получении трансгенных растений была снабжена сигнальной последовательностью, которая перенаправляла цитоплазматическую Fe-зависимую супероксиддисмутазу в пластиды. Предпосылкой для данной работы послужило обнаружение нами значительных ультраструктурных изменений митохондрий в трансгенных линиях как в контроле, так и при действии разных типов засоления. Для более достоверной интерпретации результатов нам необходимо понимание, связаны ли отмеченные нами изменения структуры с активацией или с подавлением дыхания, так как данные литературы в этом вопросе неоднозначны. Для оценки интенсивности дыхания трансгенные укорененные регенеранты томата линий № 8 и № 19 поколений T0, T1 и T2, а также T0-трансгенных линий № 4, № 6 (не давшие семян при самоопылении), экспрессирующих ген Fe-SOD1, помещали в пробирки с агаризованной средой, составленной по прописи МС, с добавлением хлорида и сульфата натрия, оказывающих осмотическое давление, соответствующее 400 кПа. Контрольные регенеранты культивировали на питательной среде МС как в присутствии хлорида или сульфата натрия, так и без их добавления. Каждый вариант опыта включал по 10 растений. Повторность трехкратная. При этом учитывалось, что в исследовании использовались регенеранты одинаковые по габитусу и размеру. Интенсивность дыхания определяли как отношение количества мкг CO<sub>2</sub>/в час к сухому весу (г). Для измерения дыхания в маленьких объемах была модифицирована и апробирована система измерения в небольших вегетационных сосудах *in vitro*.

Установлено, что все изученные трансгенные линии были более устойчивы к воздействию сульфата натрия, однако отличались по чувствительности к хлориду натрия в сравнении с контрольными, нетрансгенными растениями, кроме того по этому показателю отмечено наличие аналогичных реакций между исходными трансгенными линиями и растениями поколения T1 и T2. Также, можно утверждать, что существенные отличия в ультраструктуре митохондрий различных линий имеют корреляцию с измерениями темнового дыхания произведенного данным методом. После проведения корреляционных исследований с другими методами исследования дыхания метод может быть полезным для первичной оценки трансгенных растений на устойчивость к абиотическим факторам *in vitro*, так как при достаточном обеспечении стерильности и совпадении параметров размера растений возможно применение его без уничтожения растений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-04-31508 мол\_а.

## **НОВЫЕ СТРУКТУРНЫЕ МОТИВЫ ЛИГАНД-СВЯЗЫВАЮЩЕГО МОДУЛЯ РЕЦЕПТОРОВ ЦИТОКИНИНОВ**

**Стеклов М.Ю., Ломин С.Н., Романов Г.А.**

*Институт физиологии растений им К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия,*

*E-mail: steklovmu@rambler.ru*

Рецепторы цитокининов принадлежат к большому семейству трансмембранных сенсорных гистидинкиназ, обнаруженных у прокариот и некоторых эукариот. Сенсорные гистидинкиназы являются необходимой частью двухкомпонентных систем, передавая сигнал посредством каскада фосфорилирования белков на первичные клеточные мишени — чаще всего на гены первичного ответа. Рецепторы цитокининов локализованы главным образом в мембранах эндоплазматического ретикулума, причем сенсорный и каталитический модули рецепторов расположены по разные стороны мембраны. Сенсорный модуль включает так называемый CHASE домен, состоящий в свою очередь из двух субдоменов. Один из них — PAS субдомен — формирует сайт связывания гормона. Второй субдомен, расположенный вблизи мембраны, служит, видимо, для передачи сигнала от сенсорного к каталитическому домену. с помощью биоинформатических программ мы сравнили первичные структуры сенсорных модулей более 100 рецепторов цитокининов разных видов растений. в результате были обнаружены новые консервативные структурные мотивы этих белков. Как оказалось, наиболее консервативной частью сенсорных модулей является стержневая  $\alpha$ -спираль, примыкающая к CHASE домену с его N-конца. Хотя конкретная функция этой спирали пока неизвестна, выраженный консенсусный мотив указывает на ее важную роль для функционирования рецептора. Кроме того, консенсусные мотивы выявлены у трансмембранных участков, в первую очередь у локуса, примыкающего к C-концу CHASE домена. Это свидетельствует об участии этого локуса в трансмембранной трансдукции гормонального сигнала.

Работа поддержана грантами РФФИ 12-04-33282 и 11-04-00614

## **ЭНДОНУКЛЕАЗЫ РАСТЕНИЙ — НОВЫЙ КЛАСС БЕЛКОВ, СВЯЗАННЫХ С ПАТОГЕНЕЗОМ**

**Трифонов Е.А., Романова А.В., Филипенко Е.А., Сапоцкий М.В.<sup>1</sup>,  
Малиновский В.И.<sup>1</sup>, Кочетов А.В.**

*Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия*

<sup>1</sup> *Биолого-почвенный институт ДВО РАН, 690022 Владивосток, Россия*

*E-mail: trifonova.k@rambler.ru*

Общее повышение нуклеазной активности является частью индуцируемого системного ответа растений на вирусную и грибную инфекцию, а также на поранение, и повышает устойчивость растений к фитопатогенам. По-видимому, за часть роста нуклеазной актив-

ности в данном случае ответственны экстраклеточные нуклеазы, а другая часть обеспечивается компонентами РНК-индуцируемого сайленсинг-комплекса (RISC). Было показано, что PR-10-белки имеют рибонуклеазную активность и локализованы внутриклеточно, а ранее считавшиеся хитиназами PR-4-белки на самом деле являются нуклеазами, имеют как ДНКазную, так и РНКазную активность и локализованы в межклеточном пространстве.

Нами были получены трансгенные растения табака, экспрессирующие гены бактериальных нуклеаз *Serratia marcescens* и растительной рибонуклеазы ZRNaseII *Zinnia elegans*. Мы показали, что трансгенные растения, экспрессирующие ген растительной рибонуклеазы ZRNaseII *Zinnia elegans*, имеют повышенную устойчивость к инфекции ВТМ. Это устойчивость высокого уровня, поскольку она проявляется в отсутствии или существенной задержке появления мозаичных симптомов инфекции и накопления вирусного антигена. Уровень полученной в трансгенных растениях устойчивости зависит от концентрации вируса в инокулюме.

Нами создан набор генетических конструкций, содержащий нормальный и мутантный (лишенный гидролитической активности) гены эндонуклеазы *Serratia marcescens*; нормальный и мутантный гены с последовательностью сигнального пептида растительного происхождения; мутантный ген без последовательности сигнального пептида. Для создания этих конструкций мы воспользовались Gateway технологией клонирования (Invitrogen). в результате мы планируем прояснить влияние РНК-связывающей и собственно экстраклеточной нуклеазной активности РНКаз, а также место локализации этой активности, на вирусостойчивость высших растений.

Полученные нами трансгенные растения, экспрессирующие различные модификации гена экстраклеточной нуклеазы бактерии *Serratia marcescens* имели более низкий уровень гидролитической активности, чем растения, экспрессирующие ген растительной рибонуклеазы ZRNaseII *Zinnia elegans*.

Нами проведен первичный анализ трансгенных растений, экспрессирующих различные варианты гена нуклеазы *Serratia marcescens* на устойчивость к ВТМ. Показано пониженное содержание антигена ВТМ в трансгенных растениях линий, экспрессирующих нативный и химерный варианты гена нуклеазы, по сравнению с нетрансгенным контролем. в случае мутантного варианта гена, снижение содержания антигена ВТМ наблюдалось при внутриклеточной локализации трансгенного продукта. Данный результат подтверждает предположение о необходимости РНК-связывающей активности для повышения устойчивости растений к фитопатогенным вирусам.

# ЦИТОЭМБРИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ ТОМАТА, ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ГЕНЫ PR-4 СЕМЕЙСТВА ЗАЩИТНЫХ БЕЛКОВ И ГЕВЕИНОПОДОБНЫХ АНТИМИКРОБНЫХ ПЕПТИДОВ, С НАРУШЕНИЕМ ИДЕНТИЧНОСТИ ФЛОРАЛЬНОЙ МЕРИСТЕМЫ.

Халилуев М.Р.<sup>1,2</sup>, Чабан И.А.<sup>1</sup>, Кононенко Н.В.<sup>1</sup>, Баранова Е.Н.<sup>1</sup>, Долгов С.В.<sup>1,3</sup>, Харченко П.Н.<sup>1</sup>, Поляков В.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии РАСХН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Филиал института биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Пушкино, Россия*

*E-mail: marat131084@rambler.ru*

Объектом для исследований послужили трансгенные растения томата, содержащие гены, кодирующие хитинсвязывающие белки из *Amaranthus caudatus* (*ac*) и *A. retriflexus* (*RS-intron-Shir*), а также гевеиноподобные антимикробные пептиды из *Stellaria media* (*amp2*), с существенными нарушениями в развитии генеративных органов. По сравнению с контролем (растениями дикого типа (линии ЯЛФ) и T<sub>0</sub>-линиями без фенотипических отклонений), цветки аномальных растений характеризовались большим количеством сильно гипертрофированных в размере чашелистиков и лепестков. Установлено, что у данных линий нарушена идентичность флоральной меристемы, что проявляется в образовании из цветоложа сформированного плода эктопических генеративных побегов, что приводит к развитию многоярусных соцветий и плодов.

Показано, что у аномальных линий наблюдались нарушения в формировании мужского гаметофита на стадии формирования микроспор в пыльниках цветков аномальных линий содержится много деформированных клеток с сильно вакуолизированной цитоплазмой, различающихся по размеру и форме. Анализ зрелых пыльников свидетельствовал, что около половины микроспор полностью останавливались в развитии, а сформировавшиеся пыльцевые зерна резко отличались от контрольных по структуре цитоплазматического компартмента. в связи с этим, у данных растений не происходило нормального оплодотворения. в результате партенокарпии происходило образование плодов с остановившимися в развитии семязачатками. Анализ растущих семяпочек показал, что на месте неоплодотворенного зародышевого мешка формируется и разрастается замещающая ткань, по структуре отличающаяся как от зародышевой, так и от эндоспермальной ткани нормальной семяпочки. Ее формирование происходит в результате продолжающейся пролиферации клеток эндотелия, утративших способность к нормальной дифференцировке. Конечным этапом развития замещающей ткани является гибель, сопровождающаяся лизисом клеток.

Экспрессия целевых генов была подтверждена у всех трех линий с аномальным фенотипом, а также у ряда линий с генами *ac*, *RS-intron-Shir* и *amp2*, не отличающихся по фенотипу от нетрансформированного контроля. Это свидетельствует, что нарушения орга-

нов генеративной сферы у трансгенных растений не зависят от экспрессии привнесенных в геном томата гетерологичных генов. Одной из причин возникновения аномалий может служить прямое или опосредованное влияние агробактериальной трансформации на изменение экспрессии MADS-бокс генов.

## **РОЛЬ СИГНАЛЬНЫХ БЕЛКОВ РII В КОНТРОЛЕ МЕТАБОЛИЗМА ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**

**Харатьян Н.Г., Залуцкая Ж.М., Лапина Т.В., Минаева Е.С., Ермилова Е.В.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*  
*E-mail: [ermilova@bio.spbu.ru](mailto:ermilova@bio.spbu.ru)*

Сигнальные белки из консервативного семейства РII охарактеризованы у прокариот (бактерий и архей) и растений. Белки РII функционируют за счет белок-белковых взаимодействий, контролируя широкий спектр мишеней в клетке, включающих ферменты, транскрипционные факторы и белки-транспортёры. У гетеротрофных прокариот контролируемые РII мишени вовлечены в процессы ассимиляции азота, в связи с чем эти белки рассматривают как центральные регуляторы азотного метаболизма. У РII-белков цианобактерий и высших растений появились дополнительные клеточные мишени: наиболее консервативной функцией белков РII у них является контроль биосинтеза аргинина за счет регуляции фермента N-ацетилглутаматкиназы (NAGK).

В лаборатории адаптации микроорганизмов СПбГУ впервые для представителя одноклеточных зеленых водорослей *Chlamydomonas reinhardtii* выявлен и охарактеризован белок из семейства РII. Установлено, что зрелый белок РII *C. reinhardtii* (CrPII) локализован в хлоропласте и как белки прокариот и высших растений формирует гомотримеры. CrPII, как и РII-белки высших растений, не фосфорилируется. Методом экспрессии специфической искусственной микроРНК получены штаммы, *amiRNA-GBL1-38* и *amiRNA-GBL1-48*, в которых уровни РII не превышают 2,5 и 25% соответственно. Протеомный анализ белков, взаимодействующих с CrPII, показал, что мишенью белка является NAGK. Сравнительный анализ CrPII-контролируемой регуляции N-ацетилглутаматкиназы из *C. reinhardtii*, цианобактерии *Synechococcus elongatus* и высшего растения *Arabidopsis thaliana* подтверждает высказанную ранее гипотезу о том, что РII-зависимая регуляция NAGK консервативна у организмов с оксигенным типом фотосинтеза. Протеомный анализ позволил нам выявить также два белка-носителя, BCC1 и BCC2, из гетеромерной ацетил-КоА карбоксилазы *C. reinhardtii*, которые также взаимодействуют с CrPII. в условиях голодания по источнику азота CrPII через контроль ацетил-КоА карбоксилазы регулирует формирование липидных тел в клетках. Полученные нами результаты свидетельствуют, что в клетках *C. reinhardtii*, как и у других организмов с оксигенным типом фотосинтеза, РII взаимодействует с несколькими мишенями.

## **СЕКЦИЯ 4**

# **ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ**

**ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВАРИАБЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА У  
ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ**

**Акинчиц Е.К., Катичева Л.А., Курина Л.Е., Воденев В.А.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского,  
г.Нижний Новгород, Россия.*

*akinchits\_elena@inbox.ru*

В ответ на повреждение для высших растений характерно возникновение и распространение переменного потенциала (ВП), в отличие от потенциала действия (ПД), возникающего при неповреждающем раздражении. ВП отличается от ПД большей длительностью, изменчивой формой и амплитудой, меньшей скоростью распространения и способностью проходить через убитые ткани и водный раствор, соединяющий перерезанный стебель. Механизмы генерации и распространения ВП мало изучены. в настоящее время существует две гипотезы распространения ВП: гидравлическая и химическая.

Целью работы является изучение механизма распространения ВП.

Объектом исследования служили проростки пшеницы (*Triticum sp.*). Одновременно из одной зоны проводилась регистрация электрической активности (при помощи хлорсеребряных макроэлектродов) и деформации листа с помощью оптической когерентной микроскопии (ОКМ). Генерацию ВП вызывали нанесением на кончик листа ожога открытым пламенем в течение 2 с. в качестве радиоактивной метки использовался  $^{14}\text{C}$  в составе сахаразы. Сразу после раздражения кончик листа опускался в бюкс с раствором  $^{14}\text{C}$ . Инкубация растения в растворе составляла 100 и 200 с. После инкубации в растворе лист растения разрезался на кусочки по 2 см, из которых были приготовлены фиксированные препараты. Активность препаратов регистрировалась с помощью торцового счётчика МСТ-17. Для доказательства химической природы сигнала, вызывающего распространение ВП, перерезали кончик листа пшеницы после нанесения ожога через 1, 3 и 6 с, регистрацию реакции проводили в трёх точках.

Было показано возникновение ВП у проростков пшеницы в ответ на ожог кончика листа открытым пламенем в то время как перерезание листа не вызывало распространяющегося электрического ответа. По мере удаления от зоны раздражения амплитуда и скорость распространения ВП значительно снижается. Была зарегистрирована быстрая деформация листа, которая может отражать распространение гидравлического сигнала. Скорость распространения гидравлического сигнала значительно превышала скорость распространения электрического ответа, что противоречит гидравлической гипотезе. Обнаружено, что радиоактивная метка способна распространяться по растению со скоростью, сопоставимой со скоростью распространения ВП. Блокирование химического сигнала препятствует распространению электрического ответа. Полученные результаты указывают на возможность распространения ВП в соответствии с химической гипотезой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-04-00837-а).



## ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ АППАРАТА ГОЛЬДЖИ ВО ВНУТРИКЛЕТОЧНОМ ТРАНСПОРТЕ Cl<sup>-</sup> У ГАЛОФИТА *SUAEDA ALTISSIMA* (L.) PALL

**Балнокин Ю.В.<sup>1,2</sup>, Орлова Ю.В.<sup>1</sup>, Шувалов А.В.<sup>1</sup>, Халилова Л.Ф., Куркова Е.Б.<sup>1</sup>,  
Мясоедов Н.А.<sup>1</sup>, Беляев Д.В.<sup>1,3</sup>, Андреев И.М.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, Московская обл., Россия

E-mail: balnokin@mail.ru

Исследовали возможность участия производных аппарата Гольджи (эндосом) в экспорте ионов Cl<sup>-</sup> из цитозоля в клетках корня галофита *Suaeda altissima*. с этой целью изучали: (1) ультраструктуру клеток корней электронно-микроскопическим методом, (2) распределение Cl<sup>-</sup> в клетках методом электронной цитохимии, основанным на образовании электронно-плотных гранул AgCl при обработке тканей ионами Ag<sup>+</sup> и (3) ΔpCl-зависимый транспорт H<sup>+</sup> на везикулах аппарата Гольджи, выделявшихся с помощью центрифугирования микросом в линейном градиенте плотности иодиксанола (Opti-prep). Транспорт H<sup>+</sup> регистрировали с помощью оптических индикаторов, акридинового оранжевого, пиранина и сафранина O, позволяющих наблюдать изменения pH внутри везикул и изменения трансмембранного электрического потенциала (Δψ), которые происходили при наложении на мембрану концентрационного градиента Cl<sup>-</sup> (ΔpCl).

Внесение NaCl в питательный раствор, на котором культивировали растения, стимулировало образование в клетках *S. altissima* эндоцитозных и экзоцитозных структур. Существенный вклад в формирование этих структур вносили мембраны аппарата Гольджи. в цитоплазме клеток корня *S. altissima* обнаружена локальная аккумуляция Cl<sup>-</sup> в зонах, прилегающих к тонопласту и плазмалемме, что, по-видимому, указывает на аккумуляцию Cl<sup>-</sup> в эндосомах, сливающихся с этими мембранами.

При создании на выделенных мембранах аппарата Гольджи концентрационного градиента Cl<sup>-</sup>, направленного из наружной среды в везикулярный люмен, наблюдался транспорт H<sup>+</sup> наружу (защелачивание люмена) и генерация Δψ, отрицательного внутри везикул. Поддержание длительного ΔpCl-зависимого транспорта H<sup>+</sup> из везикул требовало присутствия в среде проникающих катионов, тетрафенилфосфония<sup>+</sup> или трис<sup>+</sup>, которые нейтрализовали отрицательные заряды, накапливающиеся в везикулярном люмене в ходе Cl<sup>-</sup>/H<sup>+</sup>-обмена. Результаты ион-транспортных экспериментов указывают на функционирование в мембранах аппарата Гольджи Cl<sup>-</sup>/H<sup>+</sup>-антипортера — белка, осуществляющего аккумуляцию Cl<sup>-</sup> в эндосомах за счет градиента электрохимического потенциала H<sup>+</sup>. Предполагается, что Cl<sup>-</sup>/H<sup>+</sup>-антипортер аппарата Гольджи вовлечен в экспорт цитоплазматического Cl<sup>-</sup> в вакуоль и в периплазматическое пространство посредством, соответственно, эндоцитозных и экзоцитозных структур.

Работа поддержана грантом Российского Фонда Фундаментальных Исследований № 12-04-00987-а

**ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА АЗОТА НА УЛЬТРАСТРУКТУРУ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ,  
ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ АССОЦИАЦИЙ  
С БЕСПОЗВОНОЧНЫМИ ЖИВОТНЫМИ БЕЛОГО МОРЯ**

**Баулина О.И., Горелова О.А., Лобакова Е.С.**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: baulina@inbox.ru*

Исследовали изолированные из гидроидных полипов, губки и личинки полихеты зеленые микроводоросли (МВ) рода *Desmodesmus* шт.: 3Dp86E-1, 2C166E, 1Hp86E-2 и 1Pm66B (Gorelova et al., JMBA, 2013, в печ.). Условия выращивания МВ на среде BG-11 (вар. N+ и вар. N-), а также физиолого-биохимические характеристики, включая, состав пигментов и жирных кислот *Desmodesmus* sp. 3Dp86E-1 описаны (Соловченко и др., Физиол. раст., 2013, 60, 320-329). Влияние дефицита азота на ультраструктуру проявляется уже в начале экспоненциальной фазы роста культур. Спорополениновый слой клеточной стенки с эпиструктурами, характерными для представителей р. *Desmodesmus*, сохраняет свою организацию, однако ее внутренний полисахаридный слой становится менее электронно-плотным. Существенные изменения происходят с хлоропластами (Хл) и включениями запасных углеродсодержащих продуктов — крахмала и липидов. О количественных изменениях Хл и включений судили по доле их площади в площади протопласта на ультратонких срезах клеток в экваториальных и субэкваториальных областях, частоте выявления, диаметру и количеству на срез. Размер Хл, например для шт. 3Dp86E-1, на 7 сут в вар. N- уменьшается на 22 %, а к 17 сут — на 53 %. Хл лопастные, в основном, с осмиофильной оболочкой. Гранальная структура тилакоидов сохраняется, однако внутри-тилакоидное пространство часто увеличивается. Электронно-плотное вещество в люмене и в области межтилакоидных контактов не аккумулируется. Отложение крахмальных зерен на 7 сут вдвое больше в вар. N-, чем в вар. N+. Вместе с тем, к 17 сут культивирования на среде без азота запасание этого продукта снижается (на 53 % относительно 7 сут). в целом, накопление запасных углеродсодержащих продуктов в клетках увеличивается. Начиная с первых суток роста существенно возрастает доля липидных глобул (ЛГ). на 7 сут их количество на срезах клеток увеличивается в 4 раза, а суммарная площадь в 73 раза по сравнению с вар. N+; к 17 сут эти параметры на безазотной среде возрастают еще соответственно в 4 и 2,6 раз, средний диаметр ЛГ достигает 928 нм, а максимальный — 2549 нм. Уже на 7 сут по среднему и максимальному диаметру они крупнее, чем в контроле в 2,7 раза. ЛГ обычно плотно прижаты к оболочке Хл, часто сливаются между собой. на периферии большинства ЛГ скапливаются осмиофильные отложения, концентрирующиеся в местах плотных контактов с наружной мембраной оболочки Хл и связанные с ее внешней поверхностью. Описанные изменения ультраструктуры на среде без азота характерны для всех изученных штаммов МВ.

## **РОЛЬ ПРОТОННЫХ ТОКОВ В РЕЦЕПЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ У ХАРОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ**

**Булычев А.А., Алова А.В., Бибилова Т.Б.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Москва, Россия  
E-mail: tbibik@yahoo.com*

Мы показали что механическая стимуляция клеток зеленой водоросли *Chara* вызывает значительное защелачивание апопласта в непосредственной близости от места стимуляции. Первая фаза ответа клеток на стимуляцию определяется быстрым (100-200 с) и резким (до 3 рН единиц) увеличением рН апопласта. Далее следует длинная фаза возвращения рН к исходному уровню, которая может длиться до 40 мин. Вызванное механической стимуляцией защелачивание апопласта локализовано в пределах 100 мкм от места стимуляции. Этот ответ сохранялся и при отсутствии фотосинтеза, однако в темноте наблюдается существенное снижение амплитуды ответа. Добавление в среду инкубации диурона для подавления фотосинтетического электронного транспорта вызывало быстрое и обратимое ингибирование протонных токов. Ингибиторный анализ с применением блокаторов ионных каналов и ингибиторов цитоскелета показал возможную роль механочувствительных кальциевых каналов и микротрубочек в активации протонных токов через плазматическую мембрану клеток хары.

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РЕОРГАНИЗАЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПШЕНИЦЫ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ КОРНЕЙ**

**Венжик Ю.В., Таланова В.В., Титов А.Ф.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия  
E-mail: Jul.Venzhik@gmail.com*

Фотосинтетический аппарат (ФСА) растений одним из первых реагирует на действие пониженных температур, отвечая его структурно-функциональной реорганизацией. Однако до сих пор не до конца ясно, происходят ли подобные изменения ФСА при охлаждении не всего растения, а только его корневой системы. в связи с этим нами проведено изучение динамики ряда структурно-функциональных показателей ФСА у проростков озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 39 в процессе охлаждения (2°С, 7 сут) их корней.

Установлено, что первые структурные изменения ФСА происходят уже через 1–5 ч действия холода на корни пшеницы. в частности, в хлоропластах клеток листьев появляются деформированные тилакоиды, их строма становится визуально более плотной, а размеры

самых пластид увеличиваются. Одновременно со структурными перестройками зафиксированы и значительные функциональные изменения в ФСА. Так, уже в первые часы охлаждения корней пшеницы скорость электронного транспорта в хлоропластах снижается, коэффициент нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла, наоборот, возрастает, и при этом изменяется содержание хлорофиллов и каротиноидов. в дальнейшем (на 2–4-е сут опыта) зафиксировано увеличение длины фотосинтетических мембран в хлоропластах за счет мембран тилакоидов в гранах, а также увеличение размеров самих гран. Необходимо отметить, что спустя 24 ч охлаждения корней происходит достоверное увеличение холодоустойчивости клеток листьев, которая достигает максимального уровня через двое суток и в дальнейшем не меняется. Вместе с тем, через 24 ч охлаждения корней замедляется рост листьев, но спустя 48 ч он частично восстанавливается. в целом к концу опыта (7-е сут) в листьях растений формируются крупные хлоропласты, содержащие многотилакоидные граны, а также многочисленные выросты и инвагинации. При этом у проростков, корни которых охлаждались, скорость электронного транспорта в хлоропластах снижена почти в 2 раза, а коэффициент нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла на 60% превышает исходный уровень.

Таким образом, охлаждение корней вызывает в листьях растений пшеницы реорганизацию ФСА, сигнал о запуске которой поступает из клеток корня в лист и индуцирует там целый ряд структурно-функциональных изменений, направленных на повышение холодоустойчивости растений и поддержание их фотосинтетической активности в этих условиях.

## ДИНАМИКА ПЕРОКСИСОМНОГО ПУЛА В КЛЕТКАХ РАСТЕНИЙ

**Войцеховская О.В.<sup>1</sup>, Reumann S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Centre for Organelle Research (CORE), University of Stavanger, Stavanger, Norway*

*E-mail: ovoitse@yandex.ru*

Пероксисомы — органеллы, присутствующие в большинстве типов эукариотных клеток. Их важнейшей функцией является поддержание клеточного баланса активных форм кислорода (АФК). Одним из механизмов регуляции общей клеточной активности пероксисомных ферментов может быть изменение количества пероксисом в клетке; при этом важная роль принадлежит балансу между биогенезом и скоростью деградации этих органелл. У растений к настоящему времени хорошо охарактеризован биогенез пероксисом, но механизмы деградации пероксисом остаются неизученными; в то же время известно, что в клетках животных и грибов уничтожение избыточных или поврежденных пероксисом осуществляется в процессах микро- и/или макроавтофагии. Мы использовали стабильно трансформированные клетки гетеротрофной суспензионной культуры табака Bright Yellow 2, в которых под контролем конститутивного промотора 35S был экспрессирован желтый флуоресцирующий белок EYFP с сигнальным пептидом SKL, обеспечивающим мечение пероксисом. Планировалось выявить, какие процессы в растительной клетке обеспечива-

ют деградацию пероксисом как в условиях стресса, так и в норме в ходе обновления клеточных структур, и разработать подходы к исследованию динамики клеточного пероксисомного пула и его количественной оценке. в работе использовали методы флуоресцентной и конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, ингибиторный анализ, иммуногистохимию и вестерн-блоттинг для слежения за ходом деградации/накопления клеточных органелл с применением антител, специфичных к каталазе и к компонентам транслокаторного комплекса внешней мембраны пластид (ТОС75) и митохондрий (ТОМ40). Результаты показывают, что пероксисомы, в отличие от пластид и митохондрий, чрезвычайно быстро вовлекаются в процессы разборки клеточных компонентов при недостатке питания (голодание по углероду и/или азоту), и что процесс разборки пероксисом в этих условиях протекает по механизму макроавтофагии, как в клетках высших животных, но не микроавтофагии, как у дрожжей. Впервые получены количественные данные о размерах пула пероксисом в отдельной растительной клетке и его изменениях в стрессовых условиях. Получены данные о том, что накопление в клетке на фоне ингибирования конститутивной автофагии не подвергшихся обычной утилизации пероксисом может быть связано с развитием окислительного стресса. Разработанный метод количественной оценки клеточного пула пероксисом *in vivo* представляет интерес для исследований роли АФК у растений и биологии органелл растительных клеток.

## **ДИНАМИКА МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ *PLANTAGO MEDIA***

**Гребенкина Т.М., Розенцвет О.А., Нестеров В.Н., Богданова Е.С.**

*Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, Россия*  
*E-mail: olgarozen55@mail.ru*

На протяжении онтогенеза в тканях растения неоднократно меняются типы метаболизма в соответствии с заложенной в нем генетической программой, реализация которой в значительной степени зависит от внешних факторов и их сочетаний.

Цель работы — исследование изменчивости состава липидов в динамике морфометрических и физиологических показателей корневой и надземной частей *P. media* двух ценопопуляций (ЦП).

Растения ЦП-1 получали больше тепла и света, но были меньше обеспечены влагой по сравнению с растениями ЦП-2. Листья растений ЦП-2 были больше обводнены, имели меньшую удельную плотность, но большую площадь, биомассу и более длинную корневую систему. в течение летнего периода происходила последовательная смена фенологических фаз: от зацветания (июнь) к полному цветению (июль) и отцветанию (август). Постепенное изменение фенологического состояния сопровождалось снижением темпов роста листьев, перестройкой структуры биомассы, а также изменением пигментного аппарата листьев. Изменение морфометрических показателей надземных и подземных органов происходило

на фоне модификаций липидного состава. Концентрация гликолипидов (ГЛ) в листьях растений *P. media* коррелировала со скоростью роста ( $r = 94$  при  $p < 0,05$ ) и площадью листьев ( $r = 0,77$  при  $p < 0,05$ ). При общем снижении количества суммарных липидов (СЛ) в процессе роста, в пуле ГЛ увеличивался вклад дигалактозилдиацилглицерина (ДГДГ) и сульфолипида (СХДГ). в последний месяц лета на фоне снижения количества фотосинтетических пигментов уменьшалось соотношение МГДГ/ДГДГ и увеличивалось количество СХДГ. Установлена связь между изменением морфометрических показателей и индивидуальными фосфолипидами (ФЛ): с уменьшением площади листьев снижалось соотношение ФХ/ФЭ—основных структурных липидов непластидных мембран ( $r = 0,83$  при  $p < 0,01$ ). Содержание нейтральных липидов в листьях *P. media* в процессе роста увеличивалось ( $r = 0,94$  при  $p < 0,05$ ). Состав индивидуальных липидов генеративных органов отличался от состава липидов листьев более высоким содержанием ДГДГ по сравнению с МГДГ.

Выявлена высокая степень взаимосвязи между индексом ненасыщенности ЖК и коэффициентом роста листа ( $r = 0,82$  при  $p < 0,04$ ).

В результате проведенного комплексного исследования установлено, что морфологические изменения подземных и надземных органов *P. media* в процессе роста сопровождаются органоспецифичными модификациями состава липидов и ЖК.

## **Ca<sup>2+</sup>-ПРОНИЦАЕМЫЕ КАТИОННЫЕ КАНАЛЫ ПЛАЗМАТИЧЕСКИХ МЕМБРАН КЛЕТОК ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ**

**Демидчик В.В.**

*Белорусский Государственный Университет, Минск, Беларусь*

*E-mail: dzemidchyk@bsu.by*

Ионы кальция (Ca<sup>2+</sup>) являются важным макроэлементом минерального питания, а также играют роль «универсального» вторичного посредника в растительной клетке. в настоящем исследовании изучены пути входа кальция в клетку, катализируемые специализированными трансмембранными белковыми комплексами, называемыми катионными каналами. Установлены физиологические и молекулярные свойства Ca<sup>2+</sup>-проницаемых катионных каналов, изучены ключевые регуляторы их активности. в результате идентифицированы и детально охарактеризованы при помощи биофизических и молекулярно-генетических подходов следующие два основных класса катионных каналов: (1) конститутивные неселективные катионные каналы, включающие в себя системы, не требующие лиганда или активирующего агента для проявления функциональной активности; они подразделяются на каналы, активирующиеся при гиперполяризации, деполяризации и потенциал-независимые каналы, соответственно; (2) лиганд-активируемые неселективные катионные каналы, включающие системы, которые функционально активны только в присутствии специфических агентов-модуляторов; данные каналы представлены глутамат/глицин-активируемыми ионотропными рецепторами, каналами, активируемыми циклическими

нуклеотидами, пури-активируемыми катионными каналами и каналами, регулируемые активными формами кислорода. Показано, что потенциал-независимые неселективные катионные каналы (1 класс) доминируют в поглощении  $\text{Ca}^{2+}$  и других двухвалентных катионов в состоянии покоя, т.е. для нужд минерального питания и роста, в то время как, другие  $\text{Ca}^{2+}$ -проницаемые каналы (2 класс) обеспечивают вход  $\text{Ca}^{2+}$ , выполняющий сигнально-регуляторную роль в клетке.

## ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРОВ ДЫХАНИЯ НА РАННИЕ ЭТАПЫ БИОСИНТЕЗА ХЛОРОФИЛЛА

**Евдокимова О.В., Савченко Г.Е., Недведь Е.Л., Кабашникова Л.Ф.**

*ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси»  
ул. Академическая, 27, г. Минск, 220072, Беларусь  
E-mail: ewdokimova@inbox.ru*

Сопряжение биосинтеза хлорофилла с другими клеточными процессами является актуальной проблемой регуляции биогенеза фотосинтетического аппарата. Известно, что подавление дыхательного метаболизма нарушает процесс хлорофиллообразования. Тем не менее, инкубация листьев 7-дневных этиолированных проростков ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в течение 3 ч на растворах ингибитора гликолиза NaF и ингибитора цитохромного пути дыхания  $\text{NaN}_3$  не отразилась на содержании протохлорофиллида (Пхлд), восстановительных эквивалентов а также углеводов как источников энергии и потенциальных субстратов биосинтетических путей. Количество восстановленного Пхлд после освещения листьев в течение 1 мин во всех вариантах также было приблизительно одинаковым, однако ресинтез пигмента при повторном затемнении листьев на 3 ч в варианте с фторидом натрия значительно замедлялся. Ингибирующее действие азид натрия на ресинтез Пхлд было незначительным. Обнаружено влияние ингибиторов дыхания на синтез раннего предшественника хлорофилла 5-аминолевулиновой кислоты (АЛК) в темноте: снижение содержания АЛК в варианте с азидом натрия составило 17%, а в варианте с фторидом натрия—24% по сравнению с контролем. Кратковременное освещение этиолированных листьев вызывало разную по величине стимуляцию синтеза АЛК в последующие 3 ч затемнения: в контрольном варианте—в 4,3 раза, в варианте с азидом натрия—в 2,5 раза, а в обработанных фторидом натрия листьях—в 1,6 раза по сравнению с неосвещенными листьями каждого варианта. Известно, что в темновой пул АЛК значительный вклад вносит АЛК геминовой ветви, используемая для формирования порфиринов, входящих в состав дыхательных цитохромов, фитохрома, ферментов антиоксидантной системы. Однако эффективность функционирования геминовой ветви АЛК в ткани этиолированных листьев существенно не изменялась в результате действия ингибиторов дыхания (через 3 ч после завершения инкубации на ингибиторах снижение содержания гема по сравнению с контролем составило 7% и 11% для  $\text{NaN}_3$  и NaF, соответственно). Таким образом, влияние ингибиторов дыхания в большей степени затрагивало функционирование хлорофильной ветви пути синтеза порфиринов.



**ИОННАЯ ПРИРОДА ВАРИАБЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА У ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ****Катичева Л.А., Акинчиц Е.К., Грибков А.Л., Воденеев В.А.***Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского*

В отличие от животных клеток, ионная природа электрических реакций у высших растений остаётся малоизученной, в частности спорным считается вопрос о механизмах генерации электрического ответа на повреждение — переменного потенциала (ВП). Согласно имеющимся на данный момент представлениям, в основе генерации ВП лежит инактивация протонного насоса плазматических мембран растительных клеток, однако ряд исследователей высказывают предположения о возможной роли и других ионов, в частности,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{K}^+$  в процессе генерации ВП. Таким образом, целью данной работы явилось изучение механизма генерации ВП у высших растений. в качестве объектов исследования были использованы 3-4-х недельные проростки тыквы (*Cucurbita pepo* L.) и пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Для определения участия пассивных потоков ионов в развитии ВП была произведена регистрация сопутствующих электрической реакции изменений сопротивления мембраны. Об изменении сопротивления судили по динамике амплитуды изменений мембранного потенциала, генерируемых импульсами тока 40 пА и частотой 2 Гц, при нанесении повреждающего раздражения на лист проростка. Показано, что генерации ВП соответствует снижение мембранного сопротивления, что говорит об изменении активности ионных каналов. Для последующего определения природы потоков ионов был применен метод ингибиторного анализа. Согласно результатам, внесение в среду специфического ингибитора работы  $\text{H}^+$ -АТФазы — ортованадата натрия (0,1 мМ) — заметно подавляло развитие ВП, при этом в бескальциевой среде (ЭГТА, 1 мМ) также происходило подавление амплитуды и скорости деполяризации реакции. Кроме того, при добавлении в омывающий раствор блокаторов анионных (этакриновая кислота, 0,5 мМ) и калиевых (тетраэтиламмоний, 0,5 мМ) каналов, форма ВП заметно отличалась от контроля. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что в основе ВП лежит инактивация  $\text{H}^+$ -АТФазы, вероятно вызванная входящими из внеклеточного пространства ионами  $\text{Ca}^{2+}$ . При этом ионы  $\text{Ca}^{2+}$  способны влиять на работу анионных каналов, а формирующийся поток анионов из клетки может вносить вклад в развитие деполяризации реакции, о чём свидетельствуют результаты проведённого ингибиторного анализа. Реполяризация мембранного потенциала при ВП может быть обусловлена не только реактивацией протонного насоса, но и выходом из клетки ионов калия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.132.21.1317)

**ИЗУЧЕНИЕ УЛЬТРАСТРУКТУРНЫХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ  
КЛЕТОК НЕМОРФОГЕННОГО КАЛЛУСА ГРЕЧИХИ ТАТАРСКОЙ *F. TATARICUM*,  
КУЛЬТИВИРУЕМЫХ НА СРЕДЕ С 3-АМИНО-1,2,4 — ТРИАЗОЛОМ**

**Костюкова Ю.А., Румянцева Н.И., Хаертдинова Л.Р., Сибгатуллина Г.В.**

*КИББ КазНЦ РАН, Казань, Россия  
e-mail: j.kostyukova@mail.ru*

На уровне электронной микроскопии проводили цитохимическое изучение локализации  $H_2O_2$  в клетках неморфогенного каллуса *F.tataricum*. Присутствие перекиси водорода определяли, используя хлористый церий, образующий электронно-плотный преципитат пергидроксида церия в присутствии  $H_2O_2$ . Было установлено, что в норме  $H_2O_2$  преимущественно локализуется в клеточных стенках, что вероятно обусловлено участием перекиси водорода в процессах их растяжения. При культивировании каллуса на среде с 2мМ 3-амино-1,2,4—триазола (АТ)—ингибитором каталазы— $H_2O_2$  обнаруживалась на тонопласте и в вакуолях клеток, но отсутствовала в клеточных стенках. Наблюдали увеличение количества пластоглобул в пластидах. Изучение биохимических параметров каллусных культур, культивируемых на среде с АТ, на 4 день культивирования показали снижение активности каталазы на 40% и почти 5-ти кратное увеличение внутриклеточного содержания  $H_2O_2$  по сравнению с контрольным вариантом. Наблюдаемые изменения, вероятно, обусловлены адаптационными изменениями каллусных клеток в связи с окислительным стрессом: ограничением растяжения клеточных стенок, защитой пластид и цитоплазмы от действия активных форм кислорода (АФК). Присутствие  $H_2O_2$  в вакуолях клеток можно объяснить активацией специфических транспортеров перекиси водорода (например, аквапоринов) на тонопласте при значительном пороговом увеличении внутриклеточного содержания АФК.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГОМОЛОГИЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕМБРАН ТРАНСГЕННЫХ  
РАСТЕНИЙ ТАБАКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛИГАНД-СВЯЗЫВАЮЩИХ СВОЙСТВ  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ РЕЦЕПТОРОВ ЦИТОКИНИНОВ**

**Кривошеев Д.М.<sup>1,2</sup>, Стеклов М.Ю.<sup>1</sup>, Ломин С.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;*

<sup>2</sup>*Вологодский государственный педагогический университет, Вологда, Россия.*

*E-mail: kdm-86@mail.ru*

Ранее для изучения лиганд-связывающих свойств рецепторов цитокининов использовались гетерологичные системы на основе трансгенных бактерий или дрожжей. Данные системы имели ряд преимуществ: накопление большого количества индивидуального белка, отсутствие у микроорганизмов ферментов, отвечающих за модификацию и деградацию цитокининов и т.д. Вместе с тем, в гетерологичных системах рецептор находится в окружении, отличном от того, которое имеется в растительных мембранах. в связи с этим

важно выяснить, сохраняются ли свойства рецепторов, выявленные при их исследовании в гетерологичных системах, при нахождении рецепторов в составе мембран растений. Для этого нами была разработана гомологичная тест-система, что сделало возможным изучать индивидуальные рецепторы цитокининов в составе растительных мембран.

Листья 5-недельных растений *Nicotiana benthamiana* трансформировали генами цитокининовых рецепторов АНКЗ из арабидопсиса или ZmНК1 из кукурузы путем инфильтрации суспензией агробактерий, содержащих плазмидные векторы с соответствующими генами. Об экспрессии встроенного гена можно было судить по наличию флуоресценции «пришитого» к рецептору GFP в подвергнутых трансформации листьях табака. на 5-е сутки после трансформации из этих листьев выделяли микросомальную фракцию мембран, которую затем использовали в экспериментах по связыванию с меченым *транс*-зеатином. Специфическое связывание меченого гормона мембранами растений, трансформированных генами рецепторов АНКЗ или ZmНК1, было почти в 20 раз выше, чем у растений, не подвергнутых трансформации. Таким образом, вкладом собственных рецепторов *N. benthamiana* в связывание гормонов можно было пренебречь.

В новой гомологичной модельной системе была изучена лигандная специфичность АНКЗ и ZmНК1, а также влияние внешних условий (рН и температуры) на лиганд-связывающие свойства этих рецепторов. Между гомологичной и гетерологичной системами были выявлены черты как сходства, так и различия. Сходство касалось лигандной специфичности в отношении цитокининов — свободных оснований и влияния рН на связывание гормонов рецепторами. Системы различались по способности рецепторов связывать рибозиды цитокининов и влиянию температуры на эффективность связывания гормона. Причины данных различий в настоящее время выясняются.

Работа поддержана грантом РФФИ 11-04-00614

### **ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ИЗМЕНЕНИЕ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА КЛЕТОК СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

**Любушкина И.В.<sup>1,2</sup>, Кириченко К.А.<sup>1</sup>, Грабельных О.И.<sup>1,2</sup>, Побежимова Т.П.<sup>1</sup>,  
Степанов А.В.<sup>1</sup>, Войников В.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия

E-mail: [estel\\_86@mail.ru](mailto:estel_86@mail.ru)

Наиболее чувствительными к действию пониженных температур являются липидные компоненты мембран, которые, в первую очередь, претерпевают изменения при низкотемпературной адаптации. в работе использовалась суспензионная культура клеток озимой пшени-

цы *Triticum aestivum* L., находящаяся в логарифмической фазе роста. Культура выращивалась на MS-среде при 26°С. Были изучены изменения жирнокислотного состава общих липидов в клетках данной культуры при длительном действии низких положительных температур 4 и 8°С (7 суток) для выявления оптимальных условий низкотемпературного закаливания. Исследования показали, что жирные кислоты, входящие в состав общих липидов клеток озимой пшеницы, содержали от 14 до 22 углеродных атомов. При этом в контрольной культуре доля ненасыщенных жирных кислот почти в два раза превышала долю насыщенных жирных кислот—63,2% по сравнению с 36,8%, соответственно. Обработка суспензионной культуры низкими положительными температурами вызывала изменения не только в содержании отдельных жирных кислот, но и в их составе. Так, действие изученных в работе температур (4 и 8°С) вызывало исчезновение миристиновой кислоты (С14:0). Другие изменения жирнокислотного состава были статистически значимыми только в культуре, обработанной температурой 8°С. Так, действие данной температуры на культуру клеток озимой пшеницы приводило к снижению содержания насыщенных жирных кислот: пентадекановой (С15:0)—на 35%, пальмитиновой (С16:0)—на 19,9%, стеариновой (С18:0)—на 65,4%. Из ненасыщенных жирных кислот достоверные изменения наблюдали только для линоленовой кислоты (С18:3Δ9, 12, 15), содержание которой увеличивалось на 94%, т.е. практически в два раза по сравнению с контролем. Изменения в содержании отдельных жирных кислот отразились на таких показателях, как индекс двойной связи (ИДС) и отношение содержания ненасыщенных жирных кислот к насыщенным ( $\Sigma_{USFA}/\Sigma_{SFA}$ ). Увеличение ИДС при данной температуре закаливания составило 16%, а показателя  $\Sigma_{USFA}/\Sigma_{SFA}$ —35%. Таким образом, на основании данных жирнокислотного анализа можно заключить, что эффективной температурой для закаливания суспензионной культуры озимой пшеницы является температура 8°С, поскольку при этой температуре наблюдались статистически значимые изменения в жирнокислотном составе, характерные для процесса низкотемпературной адаптации.

### КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ — МИШЕНЬ ДЕЙСТВИЯ NO?

**Мамаева А.С., Фоменков А.А., Носов А.В., Новикова Г.В.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: AnnetteSt@yandex.ru*

Роль оксида азота (NO) в жизни растения стала привлекать внимание исследователей относительно недавно, однако к настоящему моменту накоплено значительное количество разнородных сведений по этому вопросу. Показано участие NO при симбиотических взаимодействиях, в морфогенезе и устойчивости растения к стрессам. Одной из наиболее интригующих тем исследований является взаимодействие NO с компонентами путей передачи сигнала различных гормонов, в том числе этилена. Так, установлено, что NO стимулирует биосинтез этилена. Поскольку этилен способен контролировать пролиферацию культивируемых *in vitro* клеток, мы задались вопросом, происходит ли «взаимодействие» этилена и NO при регуляции клеточного цикла. в качестве объекта исследования мы использовали культуру клеток

*Arabidopsis* дикого типа (Col-0) и впервые полученную нами культуру клеток этилен-нечувствительного мутанта по гену *EIN2*, продукт которого является позитивным регулятором пути передачи этиленового сигнала. Донор NO нитропруссид натрия (SNP) в концентрациях выше 100 мкМ приводил к увеличению содержания NO в клетках, достаточному для выявления прижизненным флуоресцентным красителем 4-амино-5-метиламино-2',7'-дифлуорофлуоресцеин диацетатом (DAF-FM DA), предел чувствительности которого лежит в области наномолярных концентраций NO. Через 24 ч инкубации клеток Col-0 с 100-2000 мкМ SNP наблюдалось уменьшение их сырой массы по сравнению с контролем, однако в культуре клеток *ein2-1* такой эффект практически не выявлялся. Следует отметить, что жизнеспособность клеток обоих генотипов под действием указанных концентраций SNP не снижалась (по данным окрашивания эритрозинем в и флуоресцеин диацетатом). Так как клетки на момент обработки SNP находились в стадии активной пролиферации, сохранение жизнеспособности на фоне снижения сырой массы позволяет говорить о возможной регуляции клеточного цикла NO. Для изучения этого вопроса при помощи ПЦР с обратной транскрипцией мы оценивали экспрессию генов циклинов: *CYCB1;1* (митотический циклин), *CYCA2;3* (маркер G2-M перехода) и *CYCD3;1* (маркер G1-S перехода). в клетках Col-0 низкие концентрации SNP (20, 50 мкМ) стимулировали экспрессию проанализированных генов, высокие концентрации (500, 2000 мкМ) ингибировали её, тогда как клетки *ein2-1* реагировали на обработку SNP гораздо слабее. Таким образом, в рамках нашей модели, для проявления биологического эффекта NO необходимо нормальное функционирование этиленового сигнального пути.

### **СОДЕРЖАНИЕ СТЕРИНОВ В МЕМБРАНЕ КАК ФАКТОР ПРОЯВЛЕНИЯ КОНСТИТУТИВНОЙ АКТИВНОСТИ НАДФН-ОКСИДАЗЫ ПЛАЗМАЛЕММЫ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ**

**Пиотровский М.С., Шевырева Т.А., Жесткова И.М., Трофимова М.С.**

*ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: agro-ministr@yandex.ru*

Гетерогенное распределение белков и липидов в плоскости мембран и его значение для осуществления мембранных функций продолжает оставаться одним из актуальных вопросов мембранологии. Сравнительно недавно получены весомые доказательства присутствия в плазмалемме растительных клеток так называемых «рафтов» — доменов, обогащенных стеринами, гликофинголипидами и белками определенного состава. Показано, что одним из белков «рафтов» является НАДФН-оксидаза, и предполагается, что такая локализация является фактором, определяющим ее активность. Для выяснения этого в настоящей работе на изолированных препаратах плазмалеммы был исследован эффект влияния β-метилциклодекстрина и филипина — агентов, извлекающих стерин из мембран и влияющих на их подвижность в мембране соответственно. Содержание стерин в мембранах определяли флуориметрически с помощью набора Amplex Red. Продукцию супероксид-анион радикала оценивали спектрофотометрически по окислению тетразолия ХТТ до формазана.

Обнаружено, что активность НАДФН-оксидазы коррелирует с содержанием в плазмалемме стерина. Обработка плазмалеммы в присутствии 20 мМ  $\beta$ -метилциклодекстрина, приводящая к 30%-ному снижению содержания в ней стерина, на 50% снижала продукцию супероксид-анион радикала в НАДФН-оксидазной реакции. В экспериментах с филипином какого-либо прямого эффекта в системе *in vitro* обнаружено не было, что не исключает его действия в системе *in vivo*. Полученные результаты могут свидетельствовать в пользу того, что мембранные стеринны, находясь в непосредственном контакте с НАДФН-оксидазой, обеспечивают прохождение ее ферментативного цикла. Однако отсутствие эффекта филипина, ограничивающего латеральную подвижность стерина, на каталитический процесс НАДФН-оксидазы позволяет предполагать, что для функционирования фермента контакт с молекулами стерина необходим, но не достаточен. Для подтверждения такой точки зрения требуется дополнительная экспериментальная проверка.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 12-04-31643 мол\_а.

## **ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРОВ КАРБОАНГИДРАЗЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПУЛ МЕМБРАННОСВЯЗАННОГО БИКАРБОНАТА В ТИЛАКОИДАХ ШПИНАТА**

**Полищук А.В., Онойко Е.Б., Подорванов В.В., Золотарёва Е.К.**

*Институт ботаники им. М.Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина*

*E-mail: membrana@ukr.net*

В прочно связанной форме бикарбонат присутствует в фотосистеме II, где выполняет структурную и кофакторную функции в процессах протонирования  $Q_B$  и разложения воды. Вместе с тем, в тилакоидных мембранах содержание слабосвязанного бикарбоната составляет до 1 мкмоль на 1 мг хлорофилла. Роль слабосвязанного бикарбоната не изучена. Мы предполагаем, что бикарбонат играет роль мобильного примембранного буфера, участвуя в латеральном переносе протонов вдоль тилакоидной мембраны от мест высвобождения к протонному каналу АТФ-синтазы в процессе синтеза АТФ. В поддержании мембранного пула бикарбоната участвует карбоангидраза (КА). Целью работы было изучение влияния ингибиторов карбоангидразы (КА) на содержание слабосвязанного бикарбоната, буферную ёмкость тилакоидов, светозависимое поглощение протонов, трансмембранный протонный градиент и скорость фотофосфорилирования.

Содержание слабосвязанного бикарбоната определяли с помощью инфракрасного газоанализатора. Буферную ёмкость определяли автоматическим титрованием в диапазоне рН 4,0-7,0, светозависимое поглощение протонов изучали с помощью рН-метра, а трансмембранный протонный градиент определяли с использованием 9-аминоакридина с помощью флуориметра Хе-РАМ ("Walz", Германия) при интенсивности действующего света 1000 мкмоль квантов/м<sup>2</sup>·с. Скорость фотофосфорилирования определяли гексокиназным методом, по флуоресценции НАДФН. Для изучения влияния ингибиторов КА суспензию тилакоидов инкубировали 3 часа при 0°C в присутствии 0,5 мМ ацетазоламида (АА),

0,5 мМ этоксизоламида (ЭА) или 80 мкМ  $\text{CuSO}_4$ , после чего промывали дегазированной средой хранения при рН 6,0.

В присутствии АА и  $\text{CuSO}_4$  снижение содержания слабосвязанного бикарбоната составляло до 10%, в то время как ЭА не изменял его. Светозависимое поглощение протонов также снижалось на 10% в присутствии АА и  $\text{CuSO}_4$ . Трансмембранный протонный градиент сохранялся во всех вариантах на постоянном уровне. Буферная ёмкость суспензии тилакоидов значительно снижалась в присутствии всех ингибиторов. Наблюдалось наиболее выраженное действие  $\text{CuSO}_4$ . Фотофосфорилирование ингибировалось только в диапазоне рН 7,0-7,5 и в присутствии экзогенно внесенного  $\text{NaHCO}_3$  до концентрации 6 мМ.

Таким образом, функциональный пул бикарбоната в тилакоидной мембране участвует в регуляции протонного транспорта в процессах энергизации мембраны и синтеза АТФ.

## **ДЕТОКСИКАЦИЯ — ОДНА ИЗ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ВАКУОЛИ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ**

**Праделова Е.В., Трухан И.С., Нимаева О.Д., Саляев Р.К.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук,*

*Иркутск, Россия,*

*E-mail: praded@sifibr.irk.ru*

У растений, в отличие от животных, системы детоксикации мало исследуются. на сегодня весь процесс детоксикации у животных подразделяют на три основные энергозависимые фазы. на первой фазе при действии оксидоредуктаз токсичные метаболиты превращаются в гидрофильные реакционноспособные соединения. на второй — гидрофильные эндо- и экзогенные электрофильные соединения вступают в реакции конъюгации с образованием преимущественно нетоксичных продуктов. на третьей фазе формируется антирадикальная и антиперекисная защита от повреждающего действия свободных радикалов и перекисных соединений, образующихся в ходе биотрансформации метаболитов. Известно, что в вакуолярный компартмент растительных клеток активно транспортируются конъюгаты ксенобиотиков и эндогенных соединений, где они должны подвергаться дальнейшей детоксикации и утилизации. Мы предприняли попытку в вакуолях корнеплодов столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) выявить механизмы детоксикации аналогичные клеткам животных. на первой фазе вакуолярной детоксикации, по всей видимости, главную роль играет фенольная пероксидаза (ПО, КФ 1.11.1.7.), которая, как показали наши исследования, представлена разнообразными изоформами. Для нее характерны широкая субстратная специфичность и полифункциональность. ПО вакуолей способна окислять соединения не только  $\text{H}_2\text{O}_2$  в пероксидазных реакциях, но и  $\text{O}_2$  в оксидазных реакциях. Окисляемые вакуолярной ПО экзо- и эндогенные метаболиты, меняя свою реакционную способность, должны вступать в реакции конъюгации. Ведущую роль в этом процессе у растений и животных играет



глутатионовая система. Мы выявили в вакуолях глутатион (GSH) и глутатион-S-трансферазную (GST, КФ 2.5.1.12) активность. Таким образом, претерпевающие окислительную модификацию метаболиты внутри вакуоли вполне могут конъюгировать с GSH. Уровень восстановленного GSH поддерживается, главным образом, глутатионредуктазой (GR, КФ 1.8.1.7), которую нам также удалось обнаружить в вакуолярном содержимом. Перечисленные ферменты и GSH прямо или косвенно участвуют в антиоксидантной защите. в целом в рамках детоксикации различают три уровня антиоксидантной защиты, на которых активно функционируют: 1) супероксиддисмутаза (СОД); 2) каталаза и пероксидаза; 3) глутатионпероксидаза и GST. Из перечисленных ферментов в вакуолях клеток корнеплодов свеклы, наряду с ПО и GST, нами выявлена и исследована Cu,Zn-СОД (КФ 1.15.1.1). Мы полагаем, что образовавшиеся в процессе эволюции системы детоксикации у животных и растений очень близки, поэтому исследуемые нами ферменты, учитывая функциональные особенности вакуолей, следует рассматривать в рамках именно этих систем.

### **ИЗМЕНЕНИЕ МЕТАБОЛОМА *CHLAMYDOMONAS REINHARDTII* ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТРОФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ**

**Пузанский Р.К., Шаварда А.Л., Шишова М.Ф.**

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*  
*E.mail: puzansky@yandex.ru*

Скорость роста микроводорослей в значительной степени определяется совокупностью действующих на них внешних факторов. Ранее нами было показано, что важнейшее значение на рост культур *Chlamydomonas reinhardtii* оказывают такие трофические факторы, как освещение и наличие утилизируемых органических субстратов. При этом наблюдалось изменение интенсивность дыхания и фотосинтеза, синтеза пигментов и ряда других биохимических процессов. Согласно современным представлениям динамичные сдвиги метаболизма клетки, происходящие в результате активации молекулярно-генетических и сигнальных систем, можно оценить по изменению спектра метаболитических соединений, идентификация которых стала возможной с развитием газовой хроматографии, сопряженной с масс-спектрометрией.

Цель данного исследования заключалась в сравнительном анализе метаболитных спектров клеток *C. reinhardtii* при изменении условий культивирования. Клетки хламидомонады штамма cc124 выращивали при постоянных автотрофных (среда ТМ, не содержащая утилизируемых органических субстратов) или миксотрофных (среда ТАР, содержащая ацетат) условиях, а также при смене условий: культуры преадаптированные к среде ТМ переносили на среду ТАП, а культуры преадаптированные к среде ТАР — на среду ТМ. Для идентификации метаболитов по массспектрам, полученным методом GC-MS, использовали программу AMDIS и ряд библиотек. Количественный анализ проводили программой NAS Unichrom, математическую обработку — с помощью программ Excel и SPSS.

В ходе исследования было проанализировано более 500 пиков, из числа которых определено не менее 100 метаболитов. Полученные результаты указывают на то, что трофические условия наиболее сильное влияние оказывают на интенсивность углеводного обмена, о чем свидетельствует изменение состава сахаров и их производных, а также их содержание. Показано, что приоритетное значение в определении метаболитного спектра имеет стадия развития культуры, на которой проводили анализ. Наиболее сильным изменениям подвергаются аминокислоты, например, валин; интермедиаты энергетических циклов, такие как, пируват и гидроксипропионат; продукты азотистого обмена — мочевины, углеводы и ряд других метаболитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИР СПбГУ 1.38.65.2011, РФФИ 13-04-00945-а, ФЦП Министерства образования и науки РФ соглашение 8093.

### **ГОРМОНАЛЬНЫЙ СТАТУС *SOLANUM TUBEROSUM* В УСЛОВИЯХ ДЕСТРУКЦИИ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА**

**Пузина Т. И., Власова Н. С.**

*Орловский государственный университет, Орел, Россия*

*E-mail: tipuzina@gmail.com*

Экспериментальные данные, подтверждающие взаимосвязь между фитогормонами и элементами цитоскелета, весьма ограничены. Прежде всего, это касается влияния цитоскелета на гормональный статус растения. Имеются лишь сведения о цитоскелет-зависимом внутриклеточном транспорте белков-рецепторов фитогормонов (в частности рецептора ауксина АВР1), а также об участии элементов цитоскелета в регуляции транспорта ауксина в клетке. в одной из работ указывается на стимуляцию синтеза абсцизовой кислоты при изменении организации микротрубочек. Цель работы состояла в изучении действия деполимеризующего агента микротрубочек колхицина на содержание и соотношение фитогормонов в листьях растений картофеля. Растения, выращенные в почвенной культуре, опрыскивали 1мМ раствором колхицина через 15 дней после появления всходов. Содержание цитокининов и абсцизовой кислоты определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа, а гиббереллинов и ауксинов — методом биотестирования. Полученные данные свидетельствуют о том, что в условиях нарушения целостности тубулинового цитоскелета происходят специфические изменения в гормональном статусе. А именно, резко уменьшается количество индолилуксусной кислоты, снижается уровень зеатина. Однако, содержание гибберелловой кислоты не отличалось от контроля (разница была в пределах ошибки опыта). Не изменялось и количество абсцизовой кислоты. Деструкция микротрубочек сопровождалась существенным падением соотношения зеатин/АБК и ИУК/АБК при неизменном отношении гибберелловой кислоты к АБК. Для доказательства неслучайности зависимости содержания фитогормонов от целостности элементов цитоскелета были проведены опыты по совместному действию колхицина и антиоксиданта селена ( $5,8 \cdot 10^{-3}$  мМ раствор  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ). Ранее нами показано, что селенит-йон снижает реакцию ПОЛ, сохраняя структуру мембран. По-видимому, это имеет значение для поддержания цитоскелет-мембранного комплекса. в условиях деструкции микротрубочек селенит-йон уменьшил негативное действие колхицина на уровень цитокининов и ауксинов в листьях,

одновременно увеличил содержание гиббереллинов и понизил количество АБК (вариант колхицин +  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ). Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что гормональный статус растения в определенной степени зависит от структурированности тубулинового цитоскелета.

## **РОЛЬ АММОНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ СТРУКТУР (ХЛОРОПЛАСТЫ, МИТОХОНДРИИ, РИБОСОМЫ) РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ.**

**Смолов А.П.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт фундаментальных проблем биологии РАН, г. Пуццино, Московская область, Россия.  
E-mail: smap49@mail.ru*

Известно, что главная роль аммония в жизнедеятельности растительной клетки сводится к его субстратной функции, а именно к участию аммония в реакциях синтеза аминокислот. Однако недавно было обнаружено, что присутствие аммония в питательной среде приводило к увеличению количества мембранных образований в структуре хлоропластов и митохондрий в клетках каллуса сои (*Glycine max*) и вызывало повышение (в 5–10 раз) числа рибосом, как в клетках каллуса сои, так и зеленой водоросли хламидомонады (*Chlamydomonas reinhardtii*) (в 2 раза). Сходные результаты, полученные на столь различных растительных объектах (клетки каллуса высшего растения и клетки водоросли), давали основание предположить существование иной, “несубстратной” функции аммония, которая связана с формированием и, возможно, функционированием рибосомального белок-синтезирующего аппарата клетки. Формирование рибосомального комплекса клетки начинается с экспрессии генов рибосомального комплекса. Учитывая, что последовательности генов рРНК и рибосомальных белков известны для многих видов растений, появляется возможность провести сравнительный анализ по влиянию аммонийного компонента питательной среды на экспрессию генов, ответственных за начальные этапы формирования рибосом в растительных клетках. Известно, что у эукариот последовательности 28S, 5.8S и 18S рРНК составляют единую транскрипционную единицу, а рибосомальные белки должны присутствовать в клетке в эквимолярных количествах. Поэтому, исследуя уровень экспрессии гена одной рРНК и уровень экспрессии гена одного рибосомального белка, можно судить о влиянии аммония на экспрессию генов всего рибосомального комплекса клетки в начальном этапе процесса их формирования. Проведенный анализ, полученных экспериментальных данных по влиянию экзогенного аммония на содержание белка, хлорофилла, количество рибосомальных структур и экспрессию рибосомальных генов, кодирующих белок малой субъединицы *grs6* и 18S рРНК в клетках каллуса и одноклеточной водоросли, показал, что под влиянием экзогенного аммония уменьшение количества рибосомальных структур в клетках не вызвано снижением активности соответствующих рибосомальных генов. Обсуждаются возможные механизмы воздействия аммония как на содержание рибосом в клетках, так и на содержание в них белка и хлорофилла: а) изменяющимся при поглощении аммония фактором рН в цитоплазме; б) непосредственно  $\text{NH}_4^+$ -ионами; в) некими аминированными соединениями, образованными при участии аммония.

**ВЛИЯНИЕ ФЕНПРОПИМОРФА И ФИЛИПИНА НА СОДЕРЖАНИЕ  
И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕРИНОВ В МЕМБРАНАХ КЛЕТОК  
СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ *ARABIDOPSIS THALIANA***

**Шевырева Т.А., Пиотровский М.С., Фоменков А.А., Носов А.В.**

*ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: shevyreva@yandex.ru*

Липидные рафты — стерин-обогащенные домены биологических мембран, белки которых могут участвовать в системе клеточного сигналинга. Считается, что образование рафтов *de novo* в плазмалемме маловероятно, поэтому, скорее всего, они начинают формироваться в эндоплазматическом ретикулуме и в ходе везикулярного транспорта доставляются в плазмалемму. Настоящая работа посвящена исследованию распределения стерин-ов в мембранах разных компартментов и выяснению того, может ли нарушение такого распределения влиять на рост клеток. Для этого клетки суспензионной культуры *Arabidopsis thaliana* субкультивировали в течение 3 сут в присутствии ингибитора синтеза стерин-ов — фенпропиморфа или обрабатывали антибиотиком филипином, ограничивающим их латеральную подвижность в мембране. Из контрольных и обработанных клеток получали микросомальные мембраны, которые разделяли на плазмалемму и эндомембраны, используя для этого последовательно разделение в водной двухфазной полимерной системе и флотацию в градиенте плотности OptiPrep. Показано, что обработка клеток фенпропиморфом приводила к снижению сырой массы клеток на 50% и увеличению диаметра изолированных из них протопластов. Внесение филипина не влияло на прирост биомассы, однако число клеток, находящихся в S-фазе клеточного цикла снижалось на 30% по сравнению с контролем. Подобного влияния фенпропиморфа на клеточный цикл не наблюдалось. Сравнение содержания стерин-ов (в расчете на мембранный белок) в микросомах, эндомембранах и плазмалемме показало, что оно максимально в плазмалемме. Аналогичный анализ, проведенный для эндомембран, выявил существенно более высокое содержание стерин-ов в мембранах аппарата Гольджи по сравнению с ЭПР. После обработки клеток фенпропиморфом наблюдалось снижение содержания стерин-ов во всех мембранных фракциях, в то время как субкультивирование с филипином приводило к уменьшению их содержания в мембранах аппарата Гольджи и одновременному увеличению в ЭПР, т.е. неравномерность распределения стерин-ов между различными мембранными фракциями исчезала. При этом снижение содержания стерин-ов в плазмалемме было не столь значительно, как при обработке фенпропиморфом. Таким образом, изменения в содержании стерин-ов и в их распределении между различными мембранными фракциями приводили к нарушениям роста и пролиферации клеток суспензионной культуры *Arabidopsis thaliana*.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11-04-01225-а.

**СЕКЦИЯ 5**

**ВОДНЫЙ СТАТУС И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ  
РАСТЕНИЙ**

**EFFECT OF TRACE ELEMENTS COMPLEX MICROCOM-V ON THE PRODUCTIVITY  
AND QUALITY OF *VITIS VINIFERA* L.**

**Veliksar S., Toma S., Tudorache Gh., Balan V.**

*Institute of Genetics and Plant Physiology, Moldovan Acad. Sci., Chişinău,*

*E-mail: [dechevas@rambler.ru](mailto:dechevas@rambler.ru)*

Based on the need for regulation of mineral nutrition and improve the quality and quantity of grapes and wine in Moldova, a new fertilizer Microcom-V, designed for foliar application in the critical phases of plant development, was elaborated. It is based on years of studying the influence of trace elements on production and mineral status of the different grape varieties and consists of six trace elements, the number and ratio of which is most relevant to the needs of grapes during the growing season. Foliar fertilization of grapes with Microcom-V increases the yield by 12-20%, and the degree of maturation of the shoots—by 11-14% (depending on the varieties and conditions of the year), compared with control plants. The resistance of plants to low temperatures in winter increases. Analysis of the degree of plants damage after the winter show a significant increase in the number of surviving buds on the bushes, which were in the previous growing season treated three times by micronutrient complex.

The foliar application of a complex of trace elements Microcom-V in viticulture not only improves the efficiency and viability of the plants, but also improves the taste and medicinal properties of grape products. According to the results of product testing in a production conditions total sugar content in grapes in the beginning of ripening of berries was higher than on the control bushes. During harvesting content of sugar in grapes increased by 0.5-1.2% compared with the control, at the same time reducing their acidity. Preferential accumulation of fructose in berries during ripening was mentioned, it is important to speed up the ripening and quality of fruit.

The important point is that the amount of free amino acids—especially essential—increases in the berries under the foliar fertilization of plants by Microcom-V. There is a tendency to increase the amount of amino acids at the beginning of ripening, when there is a high flow of assimilates to the berries, and small decline—in the ripe berries of the same variants. The latter is probably due to the more intensive accumulation of sugars in comparison with control plants. Our research has also shown that the complex of trace elements enhances the amount of coloring compounds in the berries. The quantity of anthocyanins in ripe grapes increased by 125-180% in comparison with control.

## **ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ РАСТЕНИЙ РАННЕГО КАРТОФЕЛЯ**

**Андрианов А.Д., Андрианов Д.А.**

*Бакирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия  
e-mail: a.d.andrianov@mail.ru*

Водный режим определяется биологическими особенностями растения и условиями внешней среды. Потребность картофеля в воде неодинакова в разные периоды роста. Количественно потребность в воде определяется расходом её на транспирацию и на испарение с поверхности почвы. Кроме периода наивысшей потребности в воде, у картофеля выделяется критический период по отношению к влажности почвы, когда недостаток влаги вызывает необратимые сдвиги в развитии растений и ведёт к снижению урожайности. Таких периодов у картофеля два: стадия образования и удлинения столонов и стадия закладки и роста клубней.

В 1990–2012 году в ГУСП совхоз «Алексеевский» РБ провели полевые опыты по разработке оптимального режима орошения раннего картофеля. Оптимальная влажность почвы на глубине 0–50 см должна быть около 85 % НВ. Избыток влаги нежелателен, он нарушает аэрацию в почве и вызывает снижение урожая. Концентрация кислорода в среде должна быть не менее 15 %. Наиболее опасным для картофеля оказался водный стресс в период 20–40 дней после посадки (образование и удлинение столонов), урожайность в этом варианте снизилась на 32–37 % по сравнению с контролем (47,4 т/га). Наиболее высокая потребность проявляется в период клубнеобразования. Суммарное водопотребление картофеля в РБ колеблется в значительных пределах в зависимости от климатических условий и прежде всего от количества осадков, а также от возраста растений, длины вегетационного периода, от плодородия почвы, количества вносимых удобрений, особенностей агротехники и режима орошения. Орошение и полное минеральное удобрение увеличивали массу ботвы и площадь ассимиляционной поверхности на 120–140 % по отношению к богарным условиям без удобрения. Наиболее рационально использование поливной воды происходит при утренних поливах с 7 до 11 часов. в данном варианте формируется более высокими темпами значительно больший урожай свежих клубней. Различия с ночными и дневными поливами существенные — на 6,6 % и 5,1 % соответственно. Это обусловлено лучшими значениями биоморфологических показателей растений раннего картофеля. Развитая корневая система и оптимальная ассимиляционная поверхность листьев, как отдельного растения, так и агрофитоценоза в целом позволяет посадкам в этом варианте наиболее полно использовать внесённые удобрения и солнечную радиацию. При дневных поливах увеличиваются потери воды, а при ночных происходит значительное (до 20 %) увеличение распространённости грибных заболеваний и степени их развития (на 0,5...0,7 баллов).



## **ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ЦИНКА ДЕКОРАТИВНЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ОНТОГЕНЕЗЕ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

**Воскресенская О.Л., Ягдарова О.А.**

*Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия*

*E-mail: voskres2006@rambler.ru*

Цинк как микроэлемент, необходим для роста и развития растений. Однако, избыток Zn токсичен для растений, он снижает интенсивность фотосинтеза и дыхания, угнетает рост. Цинк является одним из наиболее важных металлов-загрязнителей и широко распространен в технике и быту.

Объектами исследований служили однолетние декоративные растения, используемые в озеленение г. Йошкар-Олы: бархатцы прямостоячие, астра китайская и цинния изящная. Районы исследований: пригородная зона (контроль), селитебная и промышленная зоны города. Определение цинка в почве и растениях (в онтогенезе) проводили атомно-абсорбционные методом. Результаты обработаны статистически.

Изучение содержания цинка в почве показало, что концентрация Zn в селитебной зоне была в 2 раза, а в промышленной зоне в 4 раза выше предельно-допустимых концентраций (ПДК = 23 мг/кг).

При изучении накопления цинка органами декоративных растений следует отметить, что во всех районах исследований корневая система у астры китайской, циннии изящной и бархатцев прямостоячих имела наиболее высокое содержание цинка по сравнению с наземными органами, особенно в загрязненных районах г. Йошкар-Олы. Подтверждением является также расчеты коэффициентов накопления и перемещения.

При изучении специфики вида можно построить убывающий ряд: астра китайская, затем цинния изящная, наименьшим содержанием цинка обладали бархатцы прямостоячие.

В онтогенезе декоративных растений отмечалось увеличение содержания металла по мере старения растений, наиболее высокий процент цинка был характерен для средневозрастных генеративных особей всех исследуемых видов по сравнению с ювенильными, иматурными и виргинильными онтогенетическими состояниями растений. При этом следует отметить, что содержание цинка в органах декоративных растений было ниже или в пределах ПДК, равного 20-150 мг/г сухого вещества.

Таким образом, содержание цинка в онтогенезе декоративных растений увеличивалось по мере загрязнения окружающей среды.

Работа выполнена при поддержке НИР № 5.8479.2013 «Экологический мониторинг и прогнозирование состояния урбанизированных и природных популяций растений» и ФЦП номер соглашения 14.В37.21.1111 по теме «Экологические аспекты функционального состояния растений в условиях городской среды».

## НАКОПЛЕНИЕ ОСМОТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПОДДЕРЖАНИЕ РОСТА РАСТЕНИЙ В НОРМЕ И ПРИ ДЕФИЦИТЕ ВОДЫ

**Высоцкая Л.Б., Веселов Д.С., Шарипова Г.В.**

*Институт биологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия*

*E-mail: vysotskaya@anrb.ru*

В нашу задачу входила оценка осмоляльности тканей растений в норме и при дефиците воды. Сравнение накопления осмотиков в листьях разных сортов пшеницы (Омская 35 и 36, Симбирка, Башкирская 26, Казахстанская 10) под влиянием дефицита воды, вызванного недельным засолением, показало отсутствие корреляции между их уровнем и скоростью роста растений: осмоляльность сока из листьев была минимальной у растений Симбирки с промежуточной скоростью роста. в отсутствие стресса определение содержания осмотиков в тканях корней, выявило отрицательную корреляцию между их уровнем и массой корней растений разных сортов пшеницы ( $r = -0,8$ ), что указывает на возможную зависимость концентрации осмотиков от их разбавления за счет роста растяжением. на фоне дефицита воды, вызванном засолением, эта закономерность не проявлялась, что свидетельствует о возрастании роли осмотиков в регуляции роста корней при стрессе. Вклад осмотической регуляции не всегда легко выявить, но он очевиден, и его механизм необходимо изучать.

Прекращение полива растений пшеницы сорта Безенчукская 139 приводило к накоплению осмотиков, заметному сначала (к третьим суткам) в зоне роста листа, а затем (к пятым)—в дифференцированных листьях. Обработка растений ингибитором рецепции этилена (1-МЦП) снижала уровень осмотической регуляции, что могло быть связано с зарегистрированным накоплением АБК, закрытием устьиц и снижением фотосинтеза. Уменьшение уровня осмотиков в зоне роста сопровождалось торможением накопления массы побега, что указывает на роль осмотической регуляции в поддержании роста.

Прекращение полива растений пшеницы на третий день приводило к накоплению осмотиков в корнях. При последующем поливе растений рост корней резко возрастал, чему могли способствовать накопленные осмотики. Увеличение концентрации осмотически активных веществ сопровождалось возрастанием уровня цитокининов в корнях растений.

Для того чтобы проверить предположение о возможной роли цитокининов в осморегуляции, изучали содержание осмотиков у трансгенных растений табака, у которых путем прогрева корней локально повышали индукцию *ipt*-гена. Зарегистрировано накопление осмотиков в листьях трансгенных растений, под влиянием локального теплового шока, что могло быть следствием повышения устьичной проводимости, фотосинтеза и усиленного притока ионов с транспирационным потоком. в корнях прогрев не вызывал повышения осмоляльности клеточного сока, что свидетельствует против непосредственного участия цитокининов в осмотической регуляции.

Исследования поддержаны грантом РФФИ 12-04-01111 Физиолого-генетическая реакция злаковых на условия почвенного питания

**МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ПУТИ ВОДЫ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ ЕЕ  
В РАЗНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ В РЕПРОДУКТИВНЫЙ ПЕРИОД**

**Гончарова Э.А.**

*Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова*

*РАСХН, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: e.goncharova@vir.nw.ru*

Одним из важнейших звеньев метаболизма растений, связанных с механизмами саморегуляции своих функций (в том числе и плодонагрузки), является транспорт различных веществ включая и воду. Результативно работы в этой области начали проводить со времени разработки метода радиоактивных изотопных меток. Однако такие вопросы, как передвижение веществ в генеративные органы (плоды, семена) и влияние экологических стрессов на этот транспорт, освещены в литературе пока не достаточно, а экспериментальных данных о влиянии на транспорт веществ в системе целого растения неблагоприятных условий среды в литературе практически отсутствуют; передвижение воды по различным органам растений исследовано еще слабее. Наши эксперименты, проведенные с помощью тритиевой метки (ТНО), позволили выявить ряд закономерностей. Так при увеличении осмотического давления во внешнем растворе, ведущем к снижению в нем степени подвижности воды, интенсивность поглощения ее растениями снижается, что согласуется с литературными данными. Причем выраженность подавления этого процесса тем выше, чем больше осмотическое давление во внешнем растворе (4,5 атм при засолении и 10 атм при засухе). Это явление отчетливо прослеживается как по величине удельной активности разных фондов воды в первый срок (1 час), так и по степени возрастания ее в следующий интервал времени (от 1 до 6 часов). Данные экспериментов с очевидностью показали, что интенсивность поступления воды в плоды во всех условиях произрастания в несколько раз ниже, чем в листья. в плодах, в отличие от листьев, ТНО появляется позднее, а сам процесс поступления воды протекает значительно медленнее. в оптимальных условиях более интенсивно вода поступает в растущие плоды, что вероятно связано с их более высокой метаболической активностью и затуханием синтетических процессов в зрелых плодах. Следовательно обнаружена прямая зависимость поступления воды (ТНО) от уровня общей метаболической активности органа. в неблагоприятных условиях ТНО поступает более интенсивно в зрелые плоды. Вероятно, в силу биологического закона активизации генеративных процессов (для продолжения жизненного цикла вида), растение усиливает водообмен, как жизненно важную функцию. Следовательно, скорость передвижения воды в плоды ниже, чем в листья. Совокупность полученных данных позволила высказать гипотезу, объясняющую указанные явления: в растении вода передвигается не непосредственно из корней в плод, а через промежуточную инстанцию — лист, проходя путь: *корень-лист-плод*.

## ФИЗИОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ЗЛАКОВЫХ НА УСЛОВИЯ ПОЧВЕННОГО ПИТАНИЯ

**Гончарова Э.А., Чесноков Ю.В., Ситников М.А., Щедрина З.А.**

*Всероссийский научно-исследовательский институт растениеводства им. Н.И. Вавилова  
РАСХН, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: e.goncharova@vir.nw.ru*

Адаптационные возможности растения определяются богатством и разнообразием заложенной генетической информации, позволяющей в широком диапазоне варьирования условий обеспечить его сохранность. в природной обстановке культивируемые растения зачастую испытывают недостаток основных элементов почвенного питания—это лимит-факторы водо- и минерального обеспечения. Особо чувствительны к этим факторам однолетние растения, в том числе и хлебные злаки. Экспериментальное моделирование системы генотип—среда с использованием фитотроники и биофизической аппаратуры, достоверно показано, что растения реагируют вначале на температурные условия вегетации, позднее—на условия водообеспечения и еще позднее—на действие удобрений. Повышение уровня минерального питания (в оптимальных границах) увеличивает приток пластических веществ к формирующимся зерновкам, а интенсивность этих процессов зависит от терморежима среды и периода роста и налива зерна. Такой подход позволяет ускоренно выявлять особенности генетической детерминации формирования разных компонентов продуктивности у большой группы с.-х. растений, общие закономерности формирования в онтогенезе продуктивности, адаптивного и аттрактивного потенциалов в зависимости от генотипа, его возраста, условий почвенного питания. Экспериментально также установлена различная сортовая реакция ячменя и пшеницы на оптимальные и неблагоприятные условия водообеспечения в онтогенезе. Существенное влияние почвенной засухи отмечено и на закладку, и на дальнейшее формирование генеративных органов растений, и, как следствие, на снижение продуктивности по сравнению с растениями, выращенными в оптимальных условиях, так как на фоне засухи (в сравнении с оптимальным фоном) достоверно снижается зерновая продуктивность: с главного побега от 32 до 73,6%, а с одного растения—от 45,4 до 68,4%; общее число колосков снижается от 18,9 до 39,3%; масса 1000 зерен снижается от 21,9 до 31,2%. и хотя отзывчивость сортов на условия почвенного питания значительно зависит от внешних условий, однако генетически детерминированное, наследуемое свойство генотипа по характеру реакции на увеличение уровня обеспеченности элементами минерального питания и водообеспечения является важным сортовым признаком. Использование QTL-анализа позволило идентифицировать и картировать локусы количественных признаков при разных уровнях минерального питания; и впервые провести идентификацию и картирование QTL определяющих водный статус растений.

**МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ И НАНОТЕХНОЛОГИИ****Егоров Д.Н.<sup>1</sup>, Андрианов А.Д.<sup>2</sup>, Андрианов Д.А.<sup>2</sup>, Н.П. Егоров<sup>1</sup>, Н.В. Кузнецов<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ООО «Грин Лифт», Нижний Новгород, Россия<sup>2</sup> Башкирский государственный аграрный университет, Уфа, Россия<sup>3</sup> ООО «Новые агротехнологии», Нижний Новгород, Россия

E-mail: a.d.andrianov@mail.ru; greenlift@mail.ru

Минеральным питанием растений необходимо управлять. Разработан новый препарат Грин Лифт для удобрения культур. Действующее вещество хелатирующие агенты, одновременно входящие в цикл Кребса. Их совместное использование с наноразмерным носителем катализатором. Водорастворимые насыщенные многокомпонентные полимерно-солевые системы на основе смесей анионных полиэлектролитов, с низкой вязкостью и высокой степенью наполнения. Гидрофильные полимеры, содержащие функциональные группы, характерные для природных органических веществ, в частности незаменимых аминокислот (R-CH(NH<sub>2</sub>)-COOH)—структурных элементов белков. Солевые водорастворимые формы, содержащие элементы С, Н, О, N (общий, аммонийный, нитратный), Р, S, В, К, Са, Mg, Cu, Zn, Fe, Mn, Мо, I, Se. Органические кислоты, стимулирующие синтез ростовых веществ, протонные и апротонные растворители, являющиеся мембраноактивными веществами и средствами доставки питательных элементов. Наночастицы металлов (Fe, Zn, Cu) в виде жидкой дисперсии, стабилизированные ультразвуковой обработкой и введением поверхностно-активных веществ. Были подобраны условия, препятствующие их агломерации и потере активности. Экстракты, содержащие природные биостимуляторы (гуматы). Препаративная форма водорастворимый плёнкообразующий комплекс. Структура образующихся конгломератов обладает развитой межфазной поверхностью, иммобилизующей активные реагенты, а также множеством микрогетерогенных зон и гидрофильные каналы. Последние обеспечивают пролонгированный транспорт ионов в направлении градиента концентрации, поддерживая скорость обмена за счёт капиллярных явлений.

В 2012 году в ГУСП совхоз «Алексеевский» РБ провели полевые опыты по изучению Грин Лифт с сортами раннего Ред Скарлетт и позднего картофеля Мелодия. Применение Грин Лифт значительно повышало лабораторную и полевую всхожесть (до 96–99,8%) и количество проросших почек в глазках, в сравнении с контролем. Применение Грин Лифт повысило содержание хлорофилла в листьях во все сроки определения. Наибольшие значения массы листьев, площади ассимиляционной поверхности и числа стеблей, как с одного куста, так и с единицы площади посадок, количества и массы клубней на куст (особенно в период цветения +20 дней) были отмечены в вариантах с трёхкратным применением препарата. Наибольшая урожайность клубней картофеля во все годы исследований была достигнута при обработке Грин Лифт при посадке и в бутонизацию и цветение. Прибавка к контролю составила соответственно по сортам 8,6 и 10,9 т/га.

## **ВЛИЯНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОГЛОЩЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ**

**Закорчевный И.И.**

*Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, Киев, Украина*

*E-mail: john\_1990@ukr.net*

В настоящее время получение высоких урожаев экологически безопасной продукции растениеводства невозможно без постоянного усовершенствования технологий интенсификации сельского хозяйства и улучшения качества природной окружающей среды.

Одним из решений подобных проблем на протяжении многих лет является использование химических удобрений. Однако, являясь физиологически и химически кислыми солями, они могут изменять реакцию среды в грунте в сторону подкисления, увеличивая при этом подвижность и доступность для растений таких антропогенных загрязнителей как тяжелые металлы. Изучение влияния тяжелых металлов на растения давно представляет большой интерес в связи с их двойственной функцией: с одной стороны, тяжелые металлы могут оказывать токсическое воздействие накапливаясь как в организме, так и по трофическим цепям, а с другой — они являются важными для растений микроэлементами. Именно по этой причине изучение динамики их поглощения и трансформации в компонентах агроценоза является актуальным и необходимым.

Так, во многом накопление тяжелых металлов в растениях зависит от вида используемых удобрений. в исследованиях Гебски (1998) при выращивании столовой свеклы и салата на грунтах загрязненных тяжелыми металлами (Zn, Cd и Pb) при внесении сульфата аммония, нитрата аммония и нитрата натрия было обнаружено, что наивысшие концентрации цинка и кадмия наблюдались в корнеплодах столовой свеклы и листьях салата на фоне сульфата аммония, самая низкая — на фоне нитрата натрия. Тогда как влияние формы азота на накопление свинца было менее выражено.

Гуральчук и др. (2005) в результате проведенных модельных исследований с растениями озимой пшеницы сорта Киевская 7, обнаружили, что в случае загрязнения почвы кадмием, цинком и медью, которые вносили в виде сернокислых солей в дозах, которые отвечают 5 и 15 ГДК, накопление тяжелых металлов в растениях зависит от используемых удобрений. Так, внесение сульфата аммония на фоне более низкой загрязненности (5 ГДК), а также карбоната аммония на фоне более высокой (15 ГДК) — приводит к увеличению аккумуляции кадмия в надземных органах растения по сравнению с контролем. Таким образом, внесение удобрений способствует накоплению тяжелых металлов в надземных органах растений на загрязненных грунтах.

Фатеев и др. (1999) отмечают отсутствие эффекта минеральных удобрений и даже повышение токсичности тяжелых металлов в загрязненном грунте при их внесении. Можно спрогнозировать, что на грунтах с высоким содержанием тяжелых металлов в зоне влияния воздушных выбросов промышленных предприятий, тепловых электростанций и обогачительных фабрик эффективность удобрений будет очень низкой или даже негативной.

Таким образом, вносимые минеральные удобрения в зависимости от свойств почвы и биологических особенностей возделываемых культур могут оказывать значительное влияние на растворимость и биодоступность тяжелых металлов. Несмотря на то, что часть тяжёлых металлов связывается благодаря буферным свойствам почвы, но все-же большая доля остаётся мобильной и активно потребляется растениями.

Открытым по-прежнему остаётся вопрос о динамике закрепления соединений тяжёлых металлов разными по составу и свойствам почвами. Недостаточно так же сведений о влиянии минеральных удобрений на трансформацию соединений ТМ в почвах и их поступления в растения в процессе вегетации. Познание этих закономерностей и процессов позволит разработать практические рекомендации по устранению токсичного действия ТМ в агроценозах различного профиля. Результаты подобных исследований, проводимых в Институте физиологии растений и генетики РАНУ, так же будут полезны при выработке правильной стратегии использования почв, загрязнённых тяжёлыми металлами.

**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО И АПОПЛАСТНОГО КАЛИЯ,  
ОПРЕДЕЛЯЕМОГО В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ ТРИТИКАЛЕ ИОНОМЕТРИЧЕСКИМ  
МЕТОДОМ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ  
И УСЛОВИЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ТОКСИЧНОСТИ**

**Игнатьева С.Л., Пухальская Н.В., Кудрина А.А.**

*Российский государственный аграрный университет —  
Московская сельскохозяйственная академия имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия  
E-mail: ignatevas@li.ru*

Исследование пулов калия (К) в тканях растений проводили ионометрическим методом (Патент № 2465575). в исследовании участвовали сорта и линии тритикале: Укро, Legalo, 131/7. в вегетационных опытах тестировали 3 дозы азота 58,87 и 117 мгN/кг почвы. Общее накопление метаболического к в тканях тритикале позволило диагностировать сортовую специфику. У растений сорта Укро в каждом ярусе листьев (4–7) увеличение дозы азота повышало содержание общего К, повышение же ярусности показывало более низкое общее содержание к по сравнению с предыдущим ярусом. У сорта Legalo также наблюдали снижение содержания общего метаболического к с повышением яруса листа, но внутри яруса повышение дозы азота увеличивало поток к в ткани листа только в нижнем ярусе, в верхних ярусах, с повышением доз азота содержание к снижалось. в растениях L 131/7 листья 7-го яруса не показали увеличение содержания к под влиянием вносимого азота.

Детальное изменение содержания общего и апопластного к изучали в краткосрочном вегетационном опыте с внесением в почву, богатую солями К, азотных удобрений на фоне низких доз  $AlCl_3$  (4мгAl/100г) на растениях тритикале сорта Укро на 15-ый день роста. Апопластный к метаболически подвижен, его содержание в проводящей системе растений контрольного варианта зависело от яруса листа (наблюдалось снижение от 1-ого до 3-его



листа в 2 раза). Максимальное его содержание наблюдалось в стебле. Общее содержание  $K$  в этом варианте повышалось по ярусам снизу вверх и убывало по схеме: 2 лист > 1 лист > 3 лист > стебель. Кипячение разрушает мембраны клеток листьев растения, происходит выход метаболического  $K$  в межклеточное пространство. Содержание  $K$  увеличивается в листе 1-ого яруса в 2,5 раз, в листьях 2-го и 3-го ярусов — в 4,5 и 3,2 раза соответственно. Содержание калия в стебле после кипячения изменилось незначительно. в условиях А1 токсичности, во всех вариантах было отмечено снижение содержания апопластного  $K$  в листьях растений тритикале и незначительное изменение в стебле. Наибольшее снижение содержания  $K$  под влиянием алюминия наблюдали в самых активных растущих листьях-2 и 3-го яруса. в стебле в вариантах с алюминием содержание  $K$  повышено по сравнению с его содержанием на контроле. Сделан вывод о чувствительности способа определения  $K$  в живых тканях  $K$  состоянию растения в условиях алюминиевой токсичности, возможности оценки метаболических пулов под влиянием изменений минерального питания и в стрессовых условиях.

### **РАННИЕ ЭФФЕКТЫ ОСМОТИЧЕСКОГО И ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПУТЕЙ МЕЖКЛЕТОЧНОГО ПЕРЕНОСА ВОДЫ В КОРНЯХ КУКУРУЗЫ**

**Ионенко И.Ф., Сибгатуллин Т.А., Анисимов А.В.**

*Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань, Россия*

*E-mail: ionenko@mail.knc.ru*

Применительно к исследованию транспортных процессов в растениях не вызывает сомнения причастность давления разной природы к обеспечению движущей силы переноса водных растворов. Согласно известной модели композитного транспорта именно природа движущей силы определяет преимущественный путь потока воды: либо через протопласты с пересечением мембран, либо в обход протопластов по апопласту. Однако значимость осмотических и гидростатических сил в определении преимущественного пути движения воды до сих пор дискутируется. в последнее время появляется все больше доводов в пользу трансклеточного пути как основного пути транспорта воды на участке радиального переноса (даже в условиях действия гидростатических сил). При этом ключевая роль в регуляции радиального переноса отводится аквапоринам. Большой интерес представляют исследования эффектов давления в связи с выявлением механизмов регуляции водопроницающей активности аквапоринов.

Целью данной работы было исследовать динамику диффузионного транспорта воды в корнях кукурузы импульсным методом ЯМР после действия осмотического и гидростатического давления и выявить вклад трансмембранного переноса воды через аквапорины в ответной реакции на воздействия.

Показано, что на раннем этапе (минуты—десятки минут) ответной реакции корней на действие давления происходит изменение водопроницаемости как тонопласта, так и плазмалеммы. Используя ингибиторный анализ выявлено, что это обусловлено изменением активности аквапоринов. Используя введение в межклеточное пространство парамагнитного допинга, не проникающего через мембраны клетки, показано, что одновременно с этим может происходить регуляция диффузионного переноса воды по симпласту. Обнаружена зависимость эффектов от интенсивности и длительности воздействия. Рост интенсивности диффузионного переноса воды при увеличении давления до диапазона гиперфизиологических значений связывается с началом деструктивных изменений тонопласта, что подтверждается результатами электронной микроскопии. Оценивается роль изменений водной проницаемости мембран и симпласта в регуляции и перераспределении потоков воды вдоль разных транспортных путей в растении в ответ на воздействие давления.

Работа поддержана грантом РФФИ (№ 13-04-01203)

### **ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ МЕДЬЮ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В РАСТЕНИИ, АКТИВНОСТЬ НИТРАТРЕДУКТАЗЫ В ПОЧВЕ, НИТРАТРЕДУКТАЗЫ И ПЕРОКСИДАЗЫ В ЛИСТЯХ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

**Лисник С. С., Тома С. И., Корецкая Ю.Л.**

*Институт генетики и физиологии растений АНМ, г. Кишинёв, Молдова  
e-mail: slisnic@rambler.ru*

В условиях вегетационного опыта при низких доз Cu в почве (5 мг элемента/ кг почвы, почва—чернозем карбонатный) первичный процесс восстановления нитратов в листьях сахарной свеклы (сорт Баракуда) значительно выше и поддерживается на высоком уровне до 120 мг элемента/кг почвы. Максимальная же активность фермента отмечено при дозе 240 мг элемента/кг почвы, снижается при дозе 500, значительно—при дозе 1000 и, особенно, при дозе 1500 мг Cu /кг почвы. Полученные данные позволяют сделать вывод о значительной толерантности растений сахарной свеклы к высоким дозам меди в почве (в пределах 30—300 мг/кг). Об этом свидетельствуют и данные по активности пероксидазы: активность фермента незначительно снижается при низких дозах меди в почве (5мг/кг) и повышается особенно при дозе 120 мг элемента/кг почвы. Дальнейшее загрязнение почвы медью несущественно повлияло на активность пероксидазы. Первичный процесс денитрификации при дозе в 5 мг элемента/кг почвы снижается незначительно, снижается плавно при увеличении количества Cu до 60 мг/кг и резко падает при дальнейшем увеличении дозы, а при дозах выше 1000 мг/кг процессы денитрификации практически прекращаются. Снижение процесса денитрификации при малых дозах меди в почве (до 60 мг/кг) и высокая активность нитратредуктазы в листьях в этих условиях свидетельствуют, по-видимому, о повышении доступности нитратов для растения и усиление метаболизма растений, поскольку в этих же вариантах отмечено наивысшее накопление их биомассы. Так при внесении 5мг Cu/кг почвы средняя масса одного растения увеличивалось на 11 % по срав-

нению с растениями в контрольном варианте. Доза в 30 мг элемента /кг почвы практически не повлияла на накопление биомассы растениями, а при дозе 60 мг элемента/кг отмечено снижение их биомассы на 7,5% и на 12,7% при внесении 120 мг Cu/кг почвы. В дальнейшем возрастание концентрации меди в почве (120 и 250 мг/кг) способствовало значительному снижению накопления биомассы растениями—соответственно на 31,9 и 34,8%, а сверхвысокие дозы в 1000 и 1500 мг/кг— соответственно на 83,8 и 86%. При малых дозах Cu в почве (5 мг Cu/кг почвы) его содержание в листьях, черешках и корнях практически на уровне контроля. Однако доза в 60 мг/кг увеличивала его содержание в листьях на 33,7%, и это повышение сохраняется, достигая 461% при дозе 500 мг/кг. Такие же закономерности наблюдаются и в корнях с той разницей, что его количество в расчете на сухое вещество выше, чем в листьях, а в черешках ниже.

### **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АПОПЛАСТЕ И ИХ РОЛЬ В ПОГЛОЩЕНИИ ВОДЫ И ИОНОВ КОРНЯМИ РАСТЕНИЙ В НОРМАЛЬНЫХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

**Мейчик Н.Р., Ермаков И.П.**

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: meychik@mail.ru*

Множественность функций клеточной стенки (КС) и процессов, в ней протекающих, определяется различными причинами, среди которых можно выделить глобальную, зависимую от физико-химических характеристик ее пространственно и химически гетерогенной структуры. Проведено комплексное сравнительно-физиологическое исследование связи физико-химических свойств клеточных стенок и процессов организации ионных и водных потоков в апопласте, разработаны теоретические представления для их количественного описания. Показано, что ионообменные свойства КС зависят от вида, возраста, физиологического состояния растений, а также условий произрастания и определяются количественными соотношениями типов ионогенных групп полимерного матрикса экстраклеточного компартмента. Установлено, что объем полимерного матрикса стенок, который связан с их гидравлической проводимостью, зависит от ионных условий и pH в окружающей среде и в экстраклеточном компартменте. Показано, что изменение в набухании, которое определяется физико-химическими свойствами КС, в ответ на варьирование внешних или внутренних условий, представляет собой элемент механизма регулирования потока воды по корню.

Важная физиологическая роль ионообменных реакций в КС была выявлена при изучении засоления. Установлено, что в этих условиях в клеточных стенках растений увеличивается число активных сайтов, способных обменивать  $H^+$  на  $Na^+$  внешней среды, и, как следствие, снижается влияние токсичных концентраций  $Na^+$  на цитоплазматическое содержимое клетки. Таким образом физиологическая роль ионообменных реакций в КС заключается в поддержании низкой концентрации  $Na^+$  в водном пространстве апопласта

при резких изменениях концентраций NaCl во внешней среде, при этом движение  $\text{Ca}^{2+}$  из клеточной стенки в водное пространство апопласта и далее, вероятно, в клетку является важным элементом регуляции ионного гомеостатирования во время адаптации к условиям засоления.

Оценка функциональной роли КС в поглощении  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  корнями злаковых и бобовых растений свидетельствует, что вклад апопласта корня в детоксикацию растительного организма определяется концентрацией металла в растворе, а также составом полимеров, образующих полимерный матрикс оболочек. Более того, в определенных условиях среди механизмов, направленных на предотвращение накопления ионов тяжелых металлов в цитоплазме в токсичных для растительного организма концентрациях, депонирование  $\text{Me}^{2+}$  в КС является основным механизмом защиты растительных клеток от повреждающего воздействия этого стресса.

### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ФЕРТИГАЦИИ С КАПЕЛЬНЫМ ПОЛИВОМ НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ *FRAGARIA X ANANASSA* DUCH.**

**Помякшева Л.В., Коновалов С.Н.**

*ГНУ Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства  
и питомниководства Российской академии сельскохозяйственных наук, Москва, Россия  
e-mail: vstisp.agrochem@yandex.ru*

При выращивании растений земляники в полевых условиях требуется поддержание оптимальной влажности почвы (0,7–0,8 НВ). с капельным поливом возможно дозированное локальное внесение удобрений в почву в зону активных корней — фертигация с целью оптимизации водного режима почвы и минерального питания растений. Эффективность минерального питания растений при фертигации на почвах или субстратах, обладающих высокой поглотительной способностью, зависит от химического состава питательного (рабочего) раствора, его концентрации, которая не должна превышать 1 мг/л, и от режима подачи раствора в прикорневую зону (частоты, продолжительности).

С целью снижения количества поливов, обеспечивающих внесение необходимых доз удобрений методом фертигации, и уменьшения непроизводительных потерь элементов питания за счёт фиксации их почвой изучали эффективность различных режимов подачи питательного раствора при возделывании земляники на дерново-подзолистых почвах. Исследования проводились в Московской области в 2010–2012 гг. в полевых агрохимических опытах на сортах земляники садовой Русич, Троицкая, Дукат и Хоней. Схема посадки четырёхстрочная, 80 тыс. растений на 1 га. Гряды земляники мульчировались чёрной полиэтиленовой пленкой. Влажность почвы поддерживалась на уровне 0,8НВ до и во время плодоношения, 0,7НВ — после плодоношения.

Режимы подачи питательных растворов: регулярное внесение раствора концентрации минеральных веществ 1 мг/л, внесение раствора увеличенной в 2 раза концентрации

(2 мг/л) и сниженной в 2 раза частотой внесения. Контроль — вариант без удобрений с капельным поливом. Всего за три года было внесено из расчета 1 кг действующего вещества на 1 га: N—500 кг, P—192 кг, K—674 кг.

Установлено, что влияние концентрации питательного раствора и частоты проведения фертигации на продуктивность и биометрические показатели развития растений земляники сортоспецифично. Самая высокая генеративная продуктивность растений наблюдалась в варианте с концентрацией раствора 1 мг/л. в 2012 году в варианте с концентрацией раствора 2 мг/л и уменьшенной частотой внесения генеративная продуктивность растений существенно снижалась по сравнению с контролем. на вегетативную продуктивность растений земляники режимы внесения удобрений существенно не повлияли. в варианте с повышенной концентрацией питательного раствора наблюдался рост содержания нитратов в плодах, но в пределах ПДК, и снижение содержания хлорофилла в листьях.

### **ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА МАГНИЯ НА УРОВЕНЬ АНТИОКСИДАНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ**

**Скрыпник Л.Н., Чупахина Г.Н., Полтавская Р.Л., Федураев П.В.**

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия  
E-mail: LSkrypnik@kantiana.ru*

Содержание магния в растениях составляет в среднем 0,17%. Данный макроэлемент входит в состав основного пигмента зеленых листьев — хлорофилла. Кроме того, он поддерживает структуру рибосом, связывая РНК и белок, поэтому синтез белка не идет при недостатке магния, а тем более в его отсутствие. Также магний является активатором многих ферментов (ДНК- и РНК-полимераз, аденозинтрифосфатазы, глутаматсинтетазы; рибулозо-1,5-дифосфат карбоксилазы). Дефицит или избыток магния способен индуцировать в листьях растений окислительный стресс и как следствие этого влиять на изменение содержания антиоксидантов.

Целью данной работы было исследовать влияние дефицита магния на содержание неферментативных антиоксидантов в листьях земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.). Растения предварительно проращивали, на 15-е сутки после появления всходов проростки пересаживали на питательный раствор. в эксперименте использовали три варианта среды: контрольная (все макро- и микроэлементы среды Арнона-Хогланда, концентрация магния—2,0 мМ); Mg-дефицитная среда (все макро- и микроэлементы, концентрация магния—1,0 мМ); среда с полным исключением магния (все макро- и микроэлементы, кроме магния). Магний добавляли в форме сульфата магния. в листьях растений определяли содержание аскорбиновой кислоты, катехинов, антоцианов, лейкоантоцианов, каротиноидов, суммарное содержание полифенолов и антиоксидантную активность (в пересчете на кверцетин).

Изучение влияния условий магниевого питания на уровень антиоксидантов показало, что снижение концентрации магния в питательной среде в два раза по сравнению с контролем приводило к достоверному уменьшению содержания аскорбиновой кислоты, катехинов, суммарного содержания полифенолов и антиоксидантной активности в листьях земляники садовой. При полном исключении магния из питательной среды наблюдалось снижение содержания следующих антиоксидантов: аскорбиновой кислоты, каротиноидов, катехинов, лейкоантоцианов, суммарного содержания водорастворимых антиоксидантов и суммарного содержания полифенолов.

Уровень антоцианов в листьях растений земляники садовой, выращенных при дефиците магния и полном исключении его из среды, повышался по сравнению с контролем в 1,5-2,0 раза.

Таким образом, в ходе работы было установлено, что дефицит магния влияет на накопление отдельных антиоксидантов, а, следовательно, контроль за его поступлением в растения является необходимым условием, в том числе, и при производстве качественной растениеводческой продукции.

### **ВЛИЯНИЕ АСПАРТАТОВ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ**

**Тугарова А.В.<sup>1</sup>, Евсева Н.В.<sup>1</sup>, Антонюк Л.П.<sup>1</sup>, Гуменюк А.П.<sup>2</sup>, Щеголев С.Ю.<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимии  
и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, Россия*

*E-mail: evseva@ibppm.sgu.ru*

*<sup>2</sup> ЗАО “Биоамид”, Саратов, Россия*

В современном растениеводстве, наряду с неорганическими формами микроэлементов, используются их органоминеральные комплексы, в частности хелаты металлов с различными органическими соединениями. Эти соединения являются экологически безопасными и требуют меньшего количества для использования в качестве микроудобрений, по сравнению с неорганическими солями. Примерами таких соединений являются аспартаты (соли аспарагиновой кислоты).

В данной работе было исследовано влияние аспартатов Zn и Cu как возможных микроудобрений на рост и развитие проростков пшеницы. Было показано положительное действие аспартатов на физиологические (сухие массы побегов и корней) и морфологические (длина побега и длина корневой системы) параметры 10-суточных проростков пшеницы. При этом рост-стимулирующее действие аспартатов было сравнимо, а для ряда параметров (сухие массы побегов и корней) более выражено, чем влияние неорганических солей этих же микроэлементов, и значительно большим, чем влияние аспарагиновой кислоты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что положительное действие исследуемых солей микроэлементов обусловлено именно их структурой (хелатной формой) и лучшей,

чем для неорганических солей, биологической доступностью и совместимостью. Данное исследование демонстрирует целесообразность дальнейшего использования аспартагов микроэлементов в качестве микроудобрений в растениеводстве.

## **НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ**

**Туркин Н.И.**

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия  
E-mail: turkin203@rambler.ru*

Выращивание растений без почвы находит все более широкое применение в различных странах. Этому способствует появление качественных питательных растворов, многочисленных удобных контейнеров из полимерных термопластов, а также разработка новых способов выращивания.

Однако выращивание растений без почвы сдерживается рядом трудностей и недостатков этой технологии. При выращивании на субстратах кроме увеличения стоимости возникают проблемы их очистки и утилизации. При этом отмечается токсичность у наиболее широко используемого субстрата — минеральной ваты. Если же выращивать растения без субстрата происходит их быстрая гибель при авариях (отключении электричества или поломке оборудования). Особенно это относится к выращиванию растений в тонком слое, способом прилив — отлив, а также в аэропонике. При этом решение проблемы с помощью постоянного подтопления нижних частей корня ухудшает их аэрацию, а покупка резервного генератора электроэнергии удорожает процесс и требует присутствия оператора. к удорожанию приводит и использование дорогих питательных растворов, которые меньше засоряют форсунки, разбрызгивающие раствор.

Поскольку без почвы растения выращивают главным образом в теплицах, то возникает острая необходимость более плотного расположения растений. Одним из подходов к решению этой проблемы является пересадка растений по мере роста. При глубоководной культуре например, после посева листового салата, его в последующий месяц пересаживают 3 раза. Это приводит к увеличению ручного труда и стоимости продукции. Более удачным методом увеличения плотности посадки является раздвижка контейнеров по мере роста растений. Особенно перспективным видится раздвижка в одном направлении, что позволяет ее дешевле и легче автоматизировать. в качестве недостатка данного подхода следует отметить необходимость, по крайней мере, одной пересадки на ранних стадиях роста растений, поскольку контейнеры довольно широкие.

Указанные недостатки не являются непреодолимыми и должны быть учтены при разработке новых способов выращивания растений без почвы.



**ВОДНЫЙ СТАТУС И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ СОИ *GLYCINE MAX L.*  
ПРИ НЕДОСТАТОЧНОЙ ВЛАГОБЕСПЕЧЕННОСТИ  
И ПОВЫШЕННОМ СОДЕРЖАНИИ БИКАРБОНАТА В ПОЧВЕ**

**Харчук О.А., Кириллов А.Ф., Козьмик Р.А., Баштовая С.И.,  
Кириллова Э.Н., Митина Т.<sup>1</sup>**

*Институт генетики и физиологии растений АН Республики Молдова, Кишинев, Молдова*

<sup>1</sup>*Институт химии Академии Наук Молдовы*

*E-mail: kharchuk.biology@mail.ru*

Территория Республики Молдова характеризуется летними засухами; в почвенном растворе преобладает бикарбонат, способствующий повышению его щелочности (до рН 8,0–8,1, а в условиях сильного засоления до 8,5–8,8), что снижает потенциал продуктивности сои на 30% и более. Известным аспектом приспособления высших растений к условиям засухи является перераспределение ассимилятов в репродуктивные органы, но мало информации о подобной реакции в условиях засоления. в связи с этим в 2011–2012 гг. нами в вегетационном комплексе были проведены исследования на пресном и засоленном фонах, с моделированием однократного и повторного периодов недостаточной влагообеспеченности. Объект исследования — растения сои *Glycine max L.*, сорта Аура и Букурия. Внесение в черноземную почву при закладке опыта бикарбоната натрия (0,15% сухой массы почвы) увеличило рН почвенного раствора с 7,2 (контроль) до 8,0. в условиях недостаточной влагообеспеченности водный дефицит листьев достигал 40–50%.

Водный статус листьев контрольных растений сои характеризовался более высоким содержанием общей и симпластной воды по сравнению с корнями. Для корней характерны более высокий водный потенциал, повышенное содержание апопластной воды, более высокая относительная тургоресцентность (меньшая величина водного дефицита). На фоне однократной засухи в первый период вегетации в корнях растений сои снижается содержание воды (как симпластной, так и апопластной), уменьшаются водный потенциал и относительная тургоресцентность. Специфичность действия бикарбоната выражается в повышении содержания симпластной (внутриклеточной) воды в корнях растений сои. Повторная засуха в период наполнения семян приводит к дальнейшему снижению содержания апопластной воды в листьях, уменьшению их водного потенциала и относительной тургоресцентности.

На фоне засухи, особенно повторной, снижаются общая сухая масса и семенная продуктивность растений сои; при кратковременной засухе в начальный период вегетации увеличивается доля хозяйственно-полезной части в сухой массе растений, что является проявлением адаптации растений сои к недостатку влаги в почве. Повышенное содержание бикарбоната в почве приводит к снижению доли хозяйственно полезной части в общей сухой массе растений сои и уменьшению эффективности использования воды растением, особенно на фоне повторной почвенной засухи. Увеличение содержания натрия в корнях тесно коррелирует с уменьшением доли хозяйственно-полезной части в сухой массе растений сои.

## ОСОБЕННОСТИ ВОДООБМЕНА РАСТЕНИЙ С РАЗНЫМИ СТРАТЕГИЯМИ ЕГО РЕГУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

**Штефырца А., Харчук О., Алуки Н., Меленчук М., Брынза Л., Бучачая С.,**

*Институт генетики и физиологии растений АНМ, Кишинев, МД 2002, ул. Лесная 20.*

*E-mail: anastasia.stefirta@gmail.com*

Эффективность использования воды растениями и физиологические последствия засухи являются важными факторами, определяющими вегетативный рост и урожайность растений на глобальном уровне. В засушливых периодах преимущества высокопродуктивных сортов не проявляются в результате нарушения их водного статуса. В этой связи предусматривалось выявить способность саморегуляции водного статуса растений с разными морфологическими стратегиями адаптации к засухе. Объектами исследований были высокопродуктивные сорта и гибриды видов *Zea mays* L. и *Phaseolus vulgaris* L. По экологическим характеристикам представители *Ph. vulgaris*, L. относятся к мезофитам с хорошо развитой корневой системой горизонтально расположенной в пахотном слое почвы, слабо переносят засуху во время вегетации, но эффективно используют воду ливневых дождей. Растения *Z. mays* L. являются изогидрическими мезофитами, способными регулировать водообмен и адаптироваться в широком диапазоне влажности почвы. Установлено, что засуха обуславливает существенное обезвоживание тканей, снижение тургоресцентности и увеличение дефицита насыщения листьев, сопряженного со снижением проводимости устьиц и сокращением расхода воды на транспирацию. Растения *Z. mays* L., в отличие от *Ph. vulgaris*, L., способны поддерживать устьица открытыми вследствие поглощающей активности корней и сохранения гидравлической проводимости. У растений *Ph. vulgaris*, L. устьица закрываются при более высоком водном потенциале листьев. При этом у них происходит почти полное ингибирование процесса ассимиляции двуокси углерода и снижение эффективности использования воды.

Следовательно, адаптация растений *Z. mays* L. и *Ph. vulgaris*, L. при снижении влагообеспеченности определяется одной из альтернативных стратегий регуляции водного статуса: поддержанием/увеличением гидравлической проводимости или закрыванием устьиц. Преимущество первого механизма, обнаруженного у растений кукурузы, состоит в сохранении устьичной проводимости и фотосинтеза, и, следовательно, продуктивности. Во втором случае, характерном для растений фасоли, уменьшается риск обезвоживания, но при этом резко снижается урожайность. Низкий потенциал устойчивости этих растений объясняется ингибированием физиологических процессов при более высоком потенциале воды в клетках и критическим закрыванием устьиц. Растения кукурузы способны поддерживать активность физиологических процессов при более низком водном потенциале, что доказывает толерантность протоплазмы к снижению степени гидратации.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯГОДНЫХ РАСТЕНИЙ  
СЕМ. *ERICACEAE* ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ НА ВЫРАБОТАННЫХ УЧАСТКАХ  
ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕЛАРУСИ**

**Яковлев А.П., Рупасова Ж.А.**

*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*E-mail: alyakovlev@mail.by*

Достаточно эффективным способом восстановления потенциала плодородия выработанных торфяных месторождений в условиях Беларуси является их биологическая рекультивация на основе создания культурных фитоценозов малотребовательных к почвенному плодородию и способных успешно произрастать на сильноокислых субстратах болотных ягодных растений сем. *Ericaceae*, обеспечивающих высокий уровень проективного покрытия и способных к плодоношению уже через 2-3 года после закладки плантаций. в пользу его целесообразности свидетельствует ряд убедительных аргументов, важнейшими из которых являются предотвращение пересыхания и замедление разложения торфа при ослаблении ветровой эрозии. Вместе с тем практическая реализация данного подхода в Беларуси потребовала разработки комплексной технологии фиторекультивации этих малоплодородных земель, важнейшим элементом которой является оптимизация режима минерального питания вересковых, с учетом сезонных и возрастных изменений их потребностей в питательных элементах, что возможно только на основе проведения комплексных исследований, сочетающих в себе визуальные наблюдения за состоянием растений, определение содержания минеральных элементов в их отдельных органах и торфяном субстрате, а также экспериментальную проверку эффективности внесения различных доз удобрений.

В результате выполненных исследований была показана целесообразность внесения под эти малотребовательные к уровню агрохимического обеспечения ягодные культуры невысоких доз полного минерального удобрения, гарантирующего комплексное удовлетворение их потребностей в основных элементах питания. Обобщение экспериментальных материалов, полученных в данных исследованиях, позволило существенно расширить информационную базу, используемую в расчетах оптимальных доз удобрений балансовым методом, в предлагаемой модификации которого добавлена возможность учета агрохимических свойств остаточного слоя торфа, а также количества удобрений, внесенных в предыдущем и текущем сезонах. Предложены производству методические рекомендации, базирующиеся на использовании двух методов — балансового и листовой диагностики, направленные на повышение биологической продуктивности и улучшение качества ягодной продукции вересковых. Разработана компьютерная программа алгоритмов расчета основных регламентов внесения минеральных удобрений под планируемый урожай голубики и клюквы, с учетом агрохимических свойств субстрата. Ее использование дает возможность повысить эффективность освоения в производстве рациональной системы удобрения ягодных культур, обеспечивающей их высокую урожайность при хорошем качестве продукции и способствующей увеличению плодородия остаточного слоя торфа.

**СЕКЦИЯ 6**

**БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ**

**IN VITRO ROOT MORPHOGENESIS OF *ALOE GARIEPENSIS* PILLANS****Belokurova V. B.***Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, Kiev, Ukraine**E-mail: vbelokurova@icbge.org.ua*

*Aloaceae* family includes near 400 plant species but only some of them are used as commercial ones. *Aloe* plants contain a number of biologically active compounds but majority of species are not yet studied. *In vitro* collections can be used both for *Aloe* genetic resources conservation and biotechnological studies. Methods of *in vitro* propagation from shoot tips are elaborated mostly for *A.vera*, *A.polyphylla*, and *A.arborescens* but little work has been done on callus and organ culture of *Aloe* species. The aim of the work was to create aseptic cultures of *Aloe* species and to study their morphogenic responses to different cultivation conditions.

*Aloe africana*, *A.ferox*, and *A.gariepensis* were introduced into *in vitro* culture from seeds after surface sterilization and germination on half-strength MS medium. Seed germination was low even under GA<sub>3</sub> treatment (3-5%). Taking into account a small amount of regenerated seedlings and their slow growth rates different types of *Aloe* aseptic cultures were initiated to elaborate efficient regeneration and multiplication protocols. Callus cultures were induced from primary roots using different formulations of plant growth regulators. Combination of 1 mg/l 2,4-D and 1 mg/l BA on the basis of MS or Gamborg B<sub>5</sub> mineral salts allowed induction of rapidly growing friable yellow-green calluses of all the mentioned species. They are maintained in *in vitro* collection for more than 8 years without the loss of viability and growth rates. Transfer of calluses to the media supplied with 0,2 mg/l BA led to rapid rhizogenesis in *A.gariepensis* aseptic cultures that is an uncommon result of cytokinin action. Thick straight roots up to 3 cm length were induced. They were individually cultured on hormone-free or auxin-containing media to create isolated root cultures for morphogenesis studies and the further analyses for their possible biological activities. Prolonged incubation of isolated *A.gariepensis* roots in the presence of 0,2 mg/l BA at 16-h photoperiod resulted in direct adventitious bud formation and subsequent plantlet regeneration in several root lines. Callus lines of *A.africana* and *A.ferox* did not show such morphogenic response under the same culture conditions. Root and plantlet formation after prolonged cultivation is an evidence of high morphogenic potential of *A.gariepensis* cultured cells and can be used as a basis for elaboration of technologies of *in vitro* conservation of this species as a part plant germplasm collection.

**THE PHYSIOLOGICAL APPROACH TO CONSERVATION *IN VITRO* OF RARE  
AND DISAPPEARING PLANTS IN UKRAINE FLORA**

**Sheyko E.A., Musatenko L.I.**

*M.G. Kholodny Institute of Botany of NASU, Kyiv, Ukraine*

*E-mail: lenasheyko@mail.ru*

Today the problem of wild-growing orchids protection in the temperate zone is very important and that is why the preservation of rare orchid species gene pool requires their more global and detail studies. So currently there is a need for methods of faster reproduction, introduction into culture, repatriation of these species in nature, as well as creating genetic banks and collections for conservation and enrichment of gene pool. These work deals with studies on the components of the wild orchid phytohormone complex at the various stages of ontogenesis and with the elaboration of approaches to their introduction into the culture *in vitro*. As a result there were obtained callus cultures of vegetative and generative organs of 11 wild orchid species, particularly *Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce), *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Neottia nidus-avis* (L.) Rich., *Anacamptis pyramidalis* (L.) Rich., *Himantoglossum caprinum* (M. Bieb.) K. Koch, *Platanthera chlorantha* (Cust.) Rchb., *Ophrys oestrifera* M. Bieb., *Orchis picta* Loisel., *Orchis purpurea* Huds., *Orchis simia* Lam., *Orchis tridentata* Scop. It is the first time when there has been found the interrelation of callusogenesis intensity of orchid vegetative and generative organs explants and the content and ratio of the phytohormonal complex components at the specified stages of ontogenesis that must be taken into account in the elaboration of methods of this species microclonal reproduction. It has been shown that during ontogenesis the cytokinin, IAA and ABA content between the orchid organs changes and the ratio of active and bound phytohormone forms varies. During the transition to the reproductive development the content of IAA and cytokinins in the orchid generative organs increases and that of the vegetative organs decreases. At the specified stages of ontogenesis there has been observed the interrelation between the content of orchid intact organ endogenous phytohormones and callusogenesis intensity of these organs explants. The maximum frequency of callusogenesis under these conditions of cultivation has been shown to be typical of the orchid generative organs since they are characterized by increased content of endogenous cytokinins and IAA and low level of ABA. It has been shown that callus plants might further on be practically used for renewal and preservation of rare and endangered orchid species of the Ukraine flora.

**ОЦЕНКА ИНТЕГРАЛЬНОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ  
ВОДО- И ЖИРОРАСТВОРИМЫХ КОМПОНЕНТОВ  
*TRIGONELLA FOENUM-GRÆCUM* L. ФОТОХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМ МЕТОДОМ**

Агабалаева Е.Д.

*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Беларусь, Минск*

*E-mail: plechischik@rambler.ru*

Антиоксидантная защита является важным фактором на пути мутагенных изменений, ведущих к образованию неопластических клеток и опухолевой прогрессии. Поэтому, представляется весьма актуальным изучение лекарственных растений, обладающих высокой антиоксидантной активностью (АОА).

Объектами исследования служили семена и листья пажитника греческого *T. foenum graecum* L. различного географического происхождения: Obanos, Blidet, Chiadoncha (Испания), 19X, H-26, D19 (Сирия), Gers (Франция), Metha (Индия), Ghahkamon (Ливия), Ovary Gold, Ovary 4 и линия PSZ.G.SZ (Венгрия). Антиоксидантные свойства исследовались фотохемилюминесцентным методом на анализаторе антиоксидантов и свободных радикалов *Photochem*. Результаты АОА рассчитывали в эквивалентах аскорбиновой кислоты и троллокса для водорастворимых (АОАв) и жирорастворимых (АОАж) веществ соответственно.

По результатам исследования значения АОАв в семенах пажитника греческого варьировали от 11,73 до 32,84 мкмоль/г, в то время как АОАж — от 2,36 до 14,44 мкмоль/г. Отмечено, что листья обладают значительно более высокой АОА по сравнению с семенами. Так АОАв листьев пажитника греческого составила 141,02-183,68 мкмоль/г, а АОАж — 72,30-85,94 мкмоль/г. Возможно, это связано с более высоким содержанием флавоноидов (в 3-4,5 раза) в листьях пажитника греческого, чем в семенах. Минимальная АОАв семян пажитника греческого характерна для линии PSZ.G.SZ и сорта Ovary Gold, а максимальная — для сорта Gers, Obanos, Ghahkamon. При исследовании АОАж все исследуемые сорта пажитника греческого разделились на 2 группы: сорта, обладающие высокой АОАж (8,31-14,45 мкмоль/г), и сорта, у которых значения АОАж в 3,5-4 раза ниже (2,36-3,54 мкмоль/г). В первую группу вошли такие сорта, как Metha, 19X, H-26, Ovary Gold, Ovary 4 и линия PSZ.G.SZ, а в другую — Obanos, Blidet, Chiadoncha, D19, Gers, Ghahkamon.

Была установлена значительная и умеренная положительная корреляционная связь между АОАв и содержанием флавоноидов и стероидных сапонинов в семенах пажитника греческого. Следует отметить отсутствие корреляции между АОАж и содержанием каротиноидов в семенах пажитника греческого. Это может быть обусловлено тем, что существенный вклад в интегральную АОАж семян *T. foenum graecum* L. помимо каротиноидов, вносят другие жирорастворимые антиоксиданты. В последние годы ученые активно занимаются внедрением новых биотехнологий переработки пажитника греческого и другого перспективного в условиях Беларуси лекарственного растительного сырья.



## **ТОЛЕРАНТНЫЕ К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ ГЕНОТИПЫ ПШЕНИЦЫ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Алыбаева Р.А., Кенжебаева С.С., Атабаева С.Д.**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

*E-mail: raya\_aa@mail.ru*

Характеристика накопления почвенных загрязнителей в растениях и идентификация зародышевой плазмы, устойчивой к их воздействию является важным шагом на пути использования и создания техногенно-устойчивых сортов сельскохозяйственных культур, характеризующихся минимальным накоплением поллютантов. В связи с этим, были изучены различные генотипы пшеницы с целью идентификации гермоплазмы устойчивой к тяжелым металлам (медь, цинк, свинец и кадмий), которые являются приоритетными загрязнителями для Восточного Казахстана, и выявления перспективных форм пшеницы, предназначенных для внедрения в сельскохозяйственное производство и селекционный процесс.

Исследовались генотипы озимой пшеницы мировой коллекции и районированные в регионе Восточного-Казахстана. Растения выращивались в условиях естественного загрязнения почвы. Содержание кадмия в органах растений определяли методом атомной абсорбции на приборе АAnalyst 300 фирмы “Perkin Elmer”.

Проведенные исследования показали, что медь и свинец не накапливаются, а цинк и кадмий накапливаются в репродуктивных органах пшеницы, количество их в семенах пшеницы превышает ПДК для семян. К накоплению изучаемых тяжелых металлов наиболее устойчивыми оказались сорта: Красноводопадская-25 и Мироновская-808, Минг-2 и Комсомольская-56, эти генотипы можно рекомендовать их для дальнейшего использования в селекции на металлоустойчивость.

Проведены также исследования селекционно—генетических параметров и урожайности озимой пшеницы. Лучше других генотипов перезимовали сорта Мироновская 808, Сибинка и Минг-2. Наиболее устойчивыми к неблагоприятным условиям среды во время летней вегетации оказались сорта Мироновская 808, Минг-2 и 116/271, процент сохранившихся растений наибольший у этих сортов. Урожай с деланки наибольший у сортов озимой пшеницы Мироновская 808, 116/271, Минг 2. Можно сделать вывод, что урожайность растений связана их способностью быстрее входить в фазу кущения, успешно перезимовывать, сохраняться во время летней вегетации. Сорта озимой пшеницы Минг-2 и Мироновская-808 можно рекомендовать для выращивания в условиях Восточно-Казахстанского региона при загрязнении почвы тяжелыми металлами, так как они мало накапливает тяжелые металлы, имеет хорошие показатели развития, перезимовки, урожайности.

## **ФЕНОМЕН ЭМБРИОИДОГЕНИИ И НОВЫЙ ТИП ВЕГЕТАТИВНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ. НЕТРАДИЦИОННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РЕПРОДУКЦИИ**

**Батыгина Т.Б.**

*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Россия*

*E-mail: tb\_batygina@mail.ru*

Индивидуальное развитие — одна из важнейших проблем нашего времени. Ещё великий российский биолог Н.К. Кольцов (1935) считал, что объединение наук — генетики и эмбриологии, а также цитологии и биохимии, создаст объединённую науку — биологию развития, раскрывающую сущность и механизмы формообразовательных процессов, что позволит решить общебиологические проблемы.

Современная эмбриология имеет интегративный характер, что подчёркивается её новым названием — биология развития, и выявляет различные генетические и биохимические основы механизма морфогенеза на уровне субклеточной и клеточной организации, включая механизмы эволюции — «Evo-Devo» (Дондуа, 2005).

Кардинальная проблема биологии развития — проблема целостности для представителей различных царств. Она позволяет выявить корреляции и изучить коррелятивные зависимости различных структур на разных уровнях иерархии. При рассмотрении этой проблемы в будущем будут освещены разработанные и сформулированные нами основные положения теории репродукции, некоторые предпосылки биологии развития и принципы формирования систем репродукции, обеспечивающие пластичность и толерантность (адаптацию) и определяющие репродуктивную стратегию вида в онтогенезе, жизненном цикле и эволюции:

- принцип саморегуляции и самоорганизации;
- принцип структурной организации, пространственно-временной координации, поливариантности развития;
- принцип универсальности путей морфогенеза;
- принцип непрерывности морфогенеза и многовариантности способов, путей морфогенеза, форм репродукции;
- принцип целостности и механизмов системы надёжности;
- принцип избыточности и конкуренции;
- принцип универсальности феноменов в развитии растений и животных;
- принцип универсальности феномена переключения морфогенетических программ развития;
- принцип детерминирующей роли соматической эволюции.

В докладе раскрываются основные положения концепции феномена эмбриоидогении.

Явление эмбриоидогении, впервые рассматриваемое нами с позиции теории и принципов репродукции, соматических и стволовых клеток, имеет большую биологическую значимость, важность для научного прогресса и прикладное значение (Batygina, 1977–2013). Понятие «эмбриоидогения» охватывает разнообразие механизмов, лежащих в основе раз-

личных явлений бесполой репродукции посредством эмбриоидов, и было впервые предложено автором данной работы. Оно затрагивает многие аспекты биологии, а его детальный анализ может стать основой для дальнейшей интеграции и синтеза знаний. Исследования в этом направлении приведут нас к пониманию внутренних механизмов функционирования живых систем на всех уровнях структурной организации.

Эмбриодогения (греч. *embryon*—зародыш, *oidos*—вид, *genus*—происхождение)—новый феномен вегетативного размножения цветковых растений *in situ*, *in vivo* и *in vitro*, элементарной структурной единицей которого является эмбриоид.

Эмбриоид—зачаток индивидуума, образующийся асексуально *in situ*, *in vivo* и *in vitro*. Эмбриоид формируется экзогенно или эндогенно, обычно из одной соматической или стволовой клетки, реже из эмбрионального клеточного комплекса. Тенденция к образованию эмбриоидов у цветковых растений отмечена на всех этапах онтогенеза, начиная с зиготы. Они могут возникать в естественных условиях на разных структурах и органах растений.

Для эмбриоида характерно образование новой оси (по отношению к материнскому организму), соединяющей полярно формирующиеся апексы побега и корня. При этом сразу возникает зачаток целого организма, а не его отдельная часть, как при другой форме вегетативного размножения—гемморизогении. Генезис, форма и размеры эмбриоида—таксоноспецифичны. Эмбриоиду присущи основные признаки, установленные для половых зародышей: полярность, симметрия, клеточная и гистогенная дифференциация, автономность и др.

Основной тезис концепции об эмбриодогении состоит в универсальности морфогенеза эмбриоидов и половых зародышей, образующихся в естественных и экспериментальных условиях, т.е. в культуре *in vitro*. При её выделении в особый тип репродукции нами были использованы два критерия: онтогенетический (гомофазная репродукция, унипарентальное наследование) и морфологический (биполярная организация структуры с апексами побега и корня и новой полярной осью). Напомним, что при эмбриодогении образование новой особи происходит при участии полового процесса, т.е. мейоза и слияния гамет (гетерофазная репродукция, бипарентальное наследование).

В зависимости от происхождения и положения эмбриоидов (соматических зародышей) на материнском растении выделены две основные формы эмбриодогении: репродуктивная (флоральная)—образование эмбриоидов в цветке и в семени, и вегетативная—образование эмбриоидов на вегетативных органах.

**Эмбриодогения и её биологическое значение.** К адаптивным преимуществам эмбриодогении относится короткий, энергетически выгодный путь образования многочисленных индивидуумов с унипарентальной или бипарентальной наследственностью, увеличивающий ареал вида.

**Эмбриодогения и её экологическое значение.** Способность растительного организма образовывать эмбриоиды на всех этапах развития на различных органах (вегетативных и генеративных) при сохранении способности к половой репродукции повышает пластичность и толерантность систем репродукции. Это расширяет адаптивные возможности ор-

ганизма, а также создает предпосылки формирования гетерогенных (в возрастном и генетическом плане) популяций.

Преимущество этого типа размножения заключается в том, что при эмбриоидогении единицей размножения является зачаток целого организма, а не его отдельная часть, как это происходит при гемморизогении. Поэтому различные формы эмбриоидогении имеют большее адаптивное значение для цветковых, чем вегетативное размножение (гемморизогенез).

Соотношение типов и способов репродукции в одном жизненном цикле в значительной степени определяется условиями обитания. Многовариантность способов, пластичность и толерантность репродукции в одном жизненном цикле у цветковых растений, несомненно, имеет адаптивное значение, обеспечивая выживание вида в норме и при стрессе.

**Эмбриоидогения и научный прогресс.** Разрозненные явления репродукции: кливажная, нуцеллярная, интегументальная и гаметофитная эмбриоидогения — впервые объединены нами в единую интегрированную систему, имеющую в своей основе единые механизмы. Были выявлены механизмы наиболее важной проблемы биологии развития — проблемы целостности организма, системы надёжности, резервов, отказов и апоптоза. Были разработаны следующие категории: центр происхождения вида, этология, экология, генетика (фенотип и генотип), эпигенетика, дублирующие структуры (эмбриоиды, половые зародыши, близнецы, выводковые почки и др.) (Batygina, 2011, 2012; Batygina, Osadtchiy, 2013).

**Эмбриоидогения и её прикладные аспекты.** Получение семян, свободных от вирусов (например, цитрусовые), гаплоидов и генетически идентичных форм с использованием эмбриоидов (например, злаки).

В заключение хочется сказать, что, феномен эмбриоидогении несомненно демонстрирует интегративный характер, и напрямую связан с проблемой целостности индивидуума. Теоретические данные позволили выявить значение эмбриоидогении в качестве основы клонирования как одного из механизмов надёжности у растительного организма, феномена полиэмбрионии, генетической гетерогенности семян, системы надёжности (резервы, отказы, апоптоз), эмбриоидогенной вивипарии, феномена переключения морфогенетических программ развития, видоспецифичности и возможной неоднократности их изменения в онтофилогенезе, ключевым механизмом которого являются соматические и стволовые клетки, и др.

Полагаю, что открытие новой категории вегетативного размножения поставило вопрос об уточнении некоторых понятий и аспектов, связанных с механизмами формирования архитектуры растения, в частности критериев разных типов меристем, роли соматических и особенно стволовых клеток и их взаимосвязи.

## ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА И УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ НА СИНТЕЗ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КАЛЛУСНЫМИ КУЛЬТУРАМИ КЛЮКВЫ

**Березина Е.В., Носкова Ю.С., Брилкина А.А.**

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия  
E-mail: berezina\_ek@52.ru*

Известно, что синтез биологически активных веществ каллусными культурами зависит от минерального, гормонального состава среды, условий освещения и возраста каллуса. Цель нашей работы — выявить влияние условий культивирования и возраста каллусов на содержание в них фенольных соединений. Объектами исследования явились каллусные культуры клюквы болотной (*Oxycoccus palustris* Pers.) и крупноплодной (*O. macrocarpus* (Ait.) Pers., сорт Стивенс).

Для получения каллусных культур использовали листья или черенки пробирочных растений, выросших из семян и пазушных почек интактных растений. При исследовании роли гормонов нами были испытаны 4 модификации питательной Андерсона: 1)  $\alpha$ -нафтилуксусная кислота (НУК) и кинетин (Кин), 2) НУК и 6-бензиламинопурин (БАП), 3) 2,4-дихлорфеноксипуксусная кислота (2,4-Д) и Кин, 4) 2,4-Д и БАП (в концентрациях по 0.5 мг/л). Часть эксплантов инкубировали при освещении в 3000 лк, часть — в темноте при 25° С. Содержание суммы растворимых фенольных соединений (СРФС), флавоноидов и катехинов в каллусах оценили спектрофотометрически (UV-1700 (Shimadzu)) после 0, 1 и 5 пассажей.

В конце 0 пассажа (спустя 8 недель после инициации каллусообразования) содержание СРФС, флавоноидов и катехинов было в 1.5-2.3 раза выше в каллусах клюквы крупноплодной, чем болотной. Примечательно, что в обоих случаях наибольшей биосинтетической способностью обладали каллусные культуры на среде с НУК/Кин в темноте, а наименьшей — на средах с 2,4-Д. После 1 пассажа содержание СРФС в каллусах на средах с НУК в основном снижалось. К концу 5 пассажа на свету увеличилось (по сравнению с 0 и 1 пассажами) количество фенолов в клюкве крупноплодной на среде с 2,4-Д/Кин и клюкве болотной на среде с НУК/БАП. Отсутствие ярко выраженного стимулирующего действия света на биосинтетическую способность молодых каллусных культур можно объяснить тем, что каллусные клетки используют уже готовый органический углерод питательной среды. При дальнейшем пассировании каллусов, очевидно, возрастает роль света в активации синтеза фенолов.

Полученные результаты позволяют заключить, что наиболее оптимальными с точки зрения биосинтеза фенолов являются питательные среды с НУК, причем сначала целесообразнее держать культуры в темноте. Однако при этом требуется проведение дальнейших исследований для выяснения влияния возраста каллусов и иных концентраций фитогормонов на вторичный метаболизм в целях оптимизации условий культивирования.

**РЕГЕНЕРАЦИЯ РАСТЕНИЙ В КУЛЬТУРЕ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПЫЛЬНИКОВ  
ГОРОХА *PISUM SATIVUM* L.****Бобков С.В.***Всероссийский научно-исследовательский институт зернобобовых и крупяных культур,**Орел, Россия**E-mail: svbobkov@gmail.com*

В настоящее время работа по получению гаплоидов гороха ведется с использованием методов культуры пыльников и изолированных микроспор. Регенерация растений в культуре пыльников гороха исследована недостаточно. Цель исследований состояла в изучении влияния различных питательных сред и стрессовых воздействий на стимулирование эмбриогенного каллусогенеза в культуре пыльников гороха и создании условий для развития эмбриогенных тканей в целые растения. Изолированные пыльники гороха культивировали на среде MSB в присутствии 2,4-Д. В опыте изучали следующие варианты стрессовых воздействий на культуру изолированных пыльников *in vitro*: **а)** тепло +37°С 18 часов (сорт Стабил); **б)** холод 1 сутки и тепло +38°С 18 часов (сорт Стабил); **в)** холод 3 суток и тепло +35°С 18 часов (сорт Визир); **г)** холод 4 суток и тепло +35°С 18 часов (сорт Визир). Зеленые эмбриогенные каллусы были получены в вариантах **б**, **в**, **г**. Для успешной регенерации в эмбриогенных тканях важным условием является последовательное развитие эмбриоидов до стадии корнесобственных растений-регенерантов. Для стимулирования прорастания эмбриоидов применяют среды без регуляторов роста или с низкими концентрациями ауксинов и цитокининов. Эффективность регенерации в эмбриогенных каллусных тканях не отличается высокой эффективностью. Поэтому привлекательными являются системы регенерации, основанные на перестройке эмбриогенных тканей на морфогенный путь развития. Эмбриогенные каллусы, инициированные в культуре пыльников сорта Визир в присутствии 2,4-Д после обработок бутонов холодом (3-4 суток) и культуры пыльников теплом +35°С (18 часов), помещали на среду MSB, дополненную 40 г/л сахарозы, 4 мг/л БАП и 1 мг/л НУК. В каллусных тканях с сочетанием процессов пролиферации, геммогенеза и спорадической регенерации побегов присутствовали эмбриоиды. Со временем они претерпевали арест развития и приобретали гипертрофированную форму на глобулярной, сердцевидной и торпедовидной стадиях развития. Одновременно в каллусных тканях наблюдали регенерацию гипертрофированных побегов. В ходе пересадок были изолированы участки регенерирующих каллусных тканей, не содержащие гипертрофированных эмбриоидов. Для инициации корнеобразования у побегов применяли модифицированные варианты среды MSB. Наибольшей эффективностью стимулирования ризогенеза отличался вариант среды MSB, содержащий 40 г/л сахарозы, 0,25 мг/л НУК и 0,25 мг/л ИМК.

**О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ РАСТЕНИЙ  
С МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИМИ ГРИБАМИ  
В ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ ДРЕВЕСНЫХ КУЛЬТУР**

**Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Камашева А.А., Двоглазова А.А.**

*Удмуртский государственный университет  
Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск, Россия  
E-mail: buharin@udmlink.ru*

В живой природе широко распространены симбиотические связи растений с микоризообразующими грибами. Считается, что 80-85 % изученных видов растений в природе имеют микоризу в корневой системе. Использование симбиотических связей растений с микоризообразующими микроскопическими грибами в целях повышения их устойчивости при культивировании является перспективным. Для их использования с целью решения проблем создания устойчивых древесных насаждений на техногенно нарушенных территориях, необходимо выделение полезной микоризообразующей флоры из корней древесных растений, произрастающих в условиях техногенной нагрузки и имеющих высокие баллы жизнестойкости, последующее определение систематической принадлежности грибов, их дальнейшее тестирование на устойчивость к поллютантам.

Исследования проводились в г. Ижевск, являющимся крупным промышленным центром Уральского региона. Большинство промышленных предприятий располагается в черте города, поэтому экологическая ситуация в городе достаточно непростая. Для города актуальна проблема старения зеленого фонда и реконструкции насаждений, для чего необходим не только подбор определенного перечня древесных культур, но и применение новых технологических приемов его культивирования.

Объектом исследований являлись древесные растения четырех видов (клен ясенелистный и клён остролистный; ель колючая и ель европейская), которые широко представлены в насаждениях города различных экологических категорий. В качестве зон условного контроля выбраны территории городского парка ландшафтного типа — ЦПКиО им. С.М. Кирова и пригородная зона.

Для сбора образцов корневой системы были отобраны модельные особи древесных растений среднегенеративного онтогенетического и хорошего жизненного состояния. Образцы корней у модельных растений отбирались согласно методике отбора образцов корневых систем и после стерилизации хранились в фиксированном виде (жидкость Корнуа) и воздушно сухом состоянии.

Микроскопирование срезов корней осуществлялось методом световой и люминесцентной микроскопии. В 17 исследуемых образцах из 34 была обнаружена эндомикориза.

Образцы корней, в которых была обнаружена микориза, были использованы для посева и выращивания чистой культуры гриба. Идентификация грибов осуществлялась методом PCR-анализа, методом клонирования фрагментов ДНК с последующей их идентификацией. из перспективных образцов можно отметить обнаруженных в корневой системе клена остролистного представителей родов *Leptodontidium*, *Tetracladium*.



## **АНАЭРОБНЫЙ СТРЕСС РАСТЕНИЙ КАК НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В БИОТЕХНОЛОГИИ**

**Вартапетян Б.Б., Долгих Ю.И., Полякова Л.И., \*Чичкова Н.В., Вартапетян А.Б.<sup>1</sup>**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,  
127276, Москва, Ботаническая ул., 35  
E-mail: borisvartapet@ippras.ru*

<sup>1</sup>*Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского московского  
государственного университета им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва*

Рассмотрен ряд биотехнологических исследований в области анаэробного стресса растений, в которых с целью повышения толерантности растений к гипоксии и аноксии использовали методы клеточной селекция *in vitro*, а также генно-инженерные подходы. При разработке упомянутых биотехнологических подходов авторы опирались на концепцию о двух главных стратегиях адаптации растений к анаэробному стрессу, которая была ранее выдвинута на основании фундаментальные исследования в этой области науки. На основании итогов проведенных биотехнологических исследований по созданию растительных клеток и целых растений, толерантных к анаэробному стрессу авторы приходят к заключению о становлении в биотехнологии нового самостоятельного направления исследований, посвященного проблеме гипоксии и аноксии растений, а также о перспективности и целесообразности дальнейших исследований в этой области биотехнологии.

## **IN VITRO И IN VIVO ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РОЛИ НИТРАТА КАК ЗАЩИТНОГО ФАКТОРА ПРИ АНАЭРОБНОМ СТРЕССЕ РАСТЕНИЙ**

**Вартапетян Б.Б., Полякова Л.И., Долгих Ю.И.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,  
127276, Москва, Ботаническая ул., 35  
E-mail: borisvartapet@ippras.ru*

Анаэробный стресс растений (гипоксия и аноксия) является широко-распространенным экстремальным явлением, который наносит существенный экологический и экономический ущерб многим странам мира. Многие растения в процессе эволюции выработали механизмы адаптации к гипоксии и аноксии. В наших исследованиях особое внимание было уделено роли экзогенного нитрата как возможного адаптивного фактора, служащего в качестве терминального акцептора электронов в условиях анаэробного стресса. Опыты были проведены как с клеточными линиями *Saccharum officinarum L.*, так и с органами риса *Oryza sativa L.* И гороха *Pisum sativum*. О физиологической роли нитрата судили, наблюдая в процессе анаэробной инкубации клеток и органов за состоянием ультраструктуры митохондрий с помощью электронного микроскопа, либо определяя индекс роста клеток в постанаэробный период. Защитная роль экзогенного ни-

трага была продемонстрирована как в опытах *in vitro* с клеточными линиями *Saccharum officinarum* L. И *Triticum aestivum* L., так и с корнями *Oryza sativa* L и *Pisum sativum* L.

## **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КРАХМАЛОВ, ЭКСТРАГИРОВАННЫХ ИЗ МИКРОКЛУБНЕЙ ТРАНСГЕННОГО КАРТОФЕЛЯ**

**Вассерман Л.А.<sup>1</sup>, Константинова Т.Н.<sup>2</sup>, Голяновская С.А.<sup>2</sup>, Плащина И.Г.<sup>2</sup>, Аксенова Н.П.<sup>2</sup>, Романов Г.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, 19334 Москва, ул. Косыгина, 4  
E-mail: lwasserma@mail.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук

Объектами данного исследования был крахмал, экстрагированный из клубней не-трансформированного картофеля (*Solanum tuberosum* L.) сорта Дезире, а также из полученных на его основе трансгенных форм картофеля, несущих агробактериальный ген *rolC* (*Agrobacterium rhizogenes*) под контролем промотора *B33* и формы, несущей ген *PHYB* Арабидопсиса под контролем промотора *35S*. Все растения культивировались *in vitro* на среде МС содержащей 8 % сахарозы в условиях непрерывной темноты или при 16-ти часовом освещении. Цель исследования—определить влияние условий освещенности растений на структурные особенности крахмалов, экстрагированных из микроклубней культивируемых растений картофеля. Обнаружено, что клубни всех исследуемых растений, культивированных на свету, характеризуются большими размерами, чем соответствующие клубни, культивированные в темноте. Крахмалы, выделенные из клубней, которые культивировались на свету, характеризуются большей термостабильностью и меньшей энтальпией плавления по сравнению с крахмалами, клубни которых культивировались в темноте. Возможные пути влияния условий освещенности на структурные характеристики крахмалов обсуждаются.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЛУКОВИЧНЫХ КУЛЬТУР *IN VITRO***

**Вельмяйкин И.Н., Фатеева Е.В., Андрюшечкина Г.В.**

ФГБОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва»  
E-mail: mr.velmyaykin@mail.ru, fateeva.ek.v@mail.ru,  
galina-2011-2011@mail.ru

Среди декоративных многолетников луковичные растения с каждым годом приобретают все большее значение в промышленном цветоводстве и озеленении. Но при размноже-

нии их традиционным способом, невозможно получить большого количества посадочного материала в короткие сроки. Поэтому реальная возможность обогатить рынок — воспользоваться достижениями и знаниями в области биотехнологии растений.

Использование технологий клонального микроразмножения позволяет сократить время выращивания до товарного стандарта. Размножая новый сорт методом культуры *in vitro*, можно вырастить несколько миллионов луковичек за один год, дорастить их в течение 2–3 лет, и получить качественный посадочный материал. При обычных методах размножения для этого понадобилось бы около 20 лет.

Большое значение в данной технологии имеет правильный выбор способа стерилизации и стерилизующего агента, от которых зависят инфицированность эксплантов, их состояние и степень жизнеспособности.

В качестве объектов исследования были взяты представители луковичных: тюльпан (*Tulipa L.*) сорт «Дабл Принцесс», нарцисс (*Narcissus L.*) сорт «Риплит» и мускари (*Muscari botryoides L.*) сорт «Альбум». Эксплантами служили целые чешуи и сегменты 5 x 5 мм.

В нашей работе мы использовали следующие стерилизующие агенты: 0,1%  $\text{KMnO}_4$ , 70% этанол, 50% Domestos, 6% хлорамин. Время экспозиции варьировали (1–25 минут).

В ходе проведенных исследований было установлено, что для тюльпана сорта «Дабл Принцесс» наиболее эффективной для подавления сапрофитной микрофлоры оказалась комбинация 0,1%  $\text{KMnO}_4$  (25 мин), 70% этанола (1 минута) и 50% раствора Domestos (25 минут). В данном варианте процент инфицированности находился в диапазоне от до 13,3% при высокой жизнеспособности эксплантов.

Для нарцисса сорта «Риплит» минимальный процент зарастания отмечался в варианте с последовательной стерилизацией в 70% этаноле (1 мин) и 50% Domestos (25 мин) — 16,6%.

Для мускари сорта «Альбум» наилучшей по обеспечению стерильности оказалась комбинация 6% хлорамина (20 мин), 70% этанола (2 мин) и 50% Domestos (25 мин). При этом процент инфицированных эксплантов составил 9,8%.

Таким образом, при введении данных луковичных растений в культуру *in vitro* применение поэтапной стерилизации оказалось наиболее эффективной против различных патогенов, что обеспечило наименьшую инфицированность и высокую жизнеспособность эксплантов.

Авторы выражают благодарность научному руководителю к.б.н. Мокшину Е.В.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДЕГИДРАТАЦИИ АПЕКСОВ НА ПОСТКРИОГЕННОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ *IN VITRO* КУЛЬТУРЫ ЗЕМЛЯНИКИ ЛЕСНОЙ И ЕЁ ПЦР АНАЛИЗ

Высоцкая О.Н., Соловьева А.И., Долгих Ю.И.

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,*

*Ботаническая ул., 35, 127276 Москва, Россия*

*E-mail: cryostyle@rambler.ru*

В настоящее время существуют многочисленные методы криосохранения, разработанные для культивируемого *in vitro* растительного материала. На сменяющих друг друга этапах любого из протоколов криосохранения живые клетки растений непрерывно подвергаются воздействию различных факторов. Нельзя исключить, что некоторые такие воздействия могут приводить к возникновению физиологических и даже генетических изменений растительного материала, восстановленного после хранения в жидком азоте. Для изучения влияния основных факторов, действующих на образцы в процессе криосохранения, мы выбрали наиболее простой метод криосохранения, который не требует использования токсичных криопротекторов и медленного программируемого замораживания — **метод дегидратации**. Перед погружением в жидкий азот образцы растительного материала дегидратировали в потоке воздуха ламинар-бокса: 3, 4 и 5 часов. В данном эксперименте использовали апексы, изолированные из растений земляники лесной (*Fragaria vesca* L., сорта Reine des Valleees), принадлежащие одному мериклону, который более 25 лет культивировали *in vitro*. Показано, что продолжительность дегидратации достоверно, с вероятностью более 95%, влияла на среднюю величину количества побегов, сформированных на агаризованной питательной среде МС, дополненной 1 мг/л 6-БАП и 0,05 мг/л ИМК, растениями земляники, восстановленными после жидкого азота из изолированных апексов. С помощью *ISSR*, *RAPD* и *REMAP* методов был проведен ПЦР-анализ ДНК проб листьев отдельных растений, подготовленных к криогенному замораживанию, и растений-регенерантов, восстановленных из изолированных апексов после жидкого азота. Данные, полученные с использованием маркеров ДНК, будут использованы для анализа генетической стабильности клонированного растительного материала земляники лесной, размножаемого *in vitro* после криосохранения методом дегидратации.

Работа поддержана: программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа» и межгосударственной целевой программой ЕврАзЭС «Инновационные биотехнологии» («Развитие национальных коллекций культур клеток растений для развития методов современной селекции и сохранения редких генотипов», Госконтракт № 16.М04.12.0003). УДК 606\*577.21

## **ПРИМЕНЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА «МИКРОКЛОНИРОВАНИЯ» ДЛЯ МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ**

**Галдина Т.Е., Землянухина О.А., Карпеченко К.А., Карпеченко И.Ю.,  
Кондратьева А.М., Вепринцев В.Н., Карпеченко Н.А.**

*Воронежская государственная лесотехническая академия*

Разработка способов клонального микроразмножения декоративных растений является одним из направлений биотехнологии. В связи с возрастающим интересом к новым растениям, используемым в декоративном садоводстве для озеленения, и недостатком высококачественного посадочного материала актуальной становится проблема массового размножения декоративных культур. Она может быть успешно решена с помощью методов культуры органов и тканей, которые в настоящее время применяются не только для выявления общих закономерностей морфогенеза растений в условиях *in vitro*, но в коммерческих целях для получения трудноразмножаемых декоративных растений.

Литературные данные свидетельствуют о возможности получения регенерантов из различных органов и тканей декоративных культур. Так удалось регенерировать полнценные растения из листовых эксплантов антуриума, высечек листа и сегментов черешка бегонии элатиор и сенполии. Однако часто при клональном микроразмножении возникает необходимость дифференцированного подхода к размножению отдельных сортов определенных видов растений.

Целью нашей работы явилось отработать технологию микроклонирования для кизильника Даймера, что позволит решить задачу производства качественного посадочного материала с высокими показателями роста.

Традиционное размножение укореняющимися черенками эффективно, но оно довольно трудоемко, требует много времени и дает сравнительно небольшой выход готовых растений.

Способ предназначен для массового тиражирования хозяйственно ценных сортов кустарниковых растений и выращивания качественного стандартного посадочного материала с целью создания плантационных насаждений и клумб, озеленения приусадебных участков.

Выращивание растений осуществляется на основе пролиферации меристем, уже имеющих у растения (прямой выгонки пазушных и апикальных побегов), их мультипликации и укоренения полученных микрорастений, т.е., без получения каллусной культуры. В качестве первичных эксплантов используются узловыи сегменты осенних, прекративших рост, побегов. Применение гормональных питательных сред необходимо на этапе получения регенерантов из первичных эксплантов и корнеобразования *in vitro*. Остальные этапы могут осуществляться на безгормональной питательной среде.

Размножение традиционным черенкованием эффективно и широко практикуется, но при этом черенки нуждаются в использовании инсектицидов и гербицидов для борьбы с возможными вредителями, к которым они в период укоренения не устойчивы, а получаемые растения часто различаются сроками начала активного роста, а, следовательно, и за-

цветания, что не выгодно для производителя. Семенное размножение для многих гибридов с повышенной декоративностью вообще не возможно из-за расщепления признаков у потомков и, как следствие, потери сортовоности.

Способ предназначен для массового тиражирования декоративных сортов, для которых затруднительно или невозможно получать растения традиционными способами и выращивания качественного стандартного посадочного материала с целью создания цветочных композиций и клумб, озеленения и украшения приусадебных участков.

Получение растений осуществляется на основе способности фрагментов органов растения образовывать каллус при определенных условиях и затем получать из него регенеранты. В качестве первичного экспланта используется листовая высечка с вегетирующего растения. Гормональная питательная среда применяется только на этапе получения каллусной культуры и регенерантов. Остальные этапы могут осуществляться на безгормональной питательной среде.

Род петуния (*Petunia*) относится к семейству пасленовых (*Solanaceae*). Происходит из тропических регионов Южной Америки, главным образом Бразилии, в естественных условиях растет в Парагвае, Боливии, Аргентине и Уругвае. По разным данным насчитывается от 15 до 40 видов. В культуре с XVIII века. Существует множество декоративных сортов, выращиваемых как однолетники, объединяемых обычно названием петуния гибридная или петуния садовая (*P. hybrida*). Гибриды, появившиеся более ста лет назад, разводятся как однолетние садовые или балконные декоративные растения, применяются обычно для горшечной культуры. Красивые крупные и яркие цветки с разнообразной окраской сделали петунию популярной среди цветоводов.

Материал для введения в культуру *in vitro*, листья, берут по возможности с молодых растущих побегов, хотя, можно брать и со старых побегов. Тип первичного экспланта — листовая высечка.

Стерилизацию исходного материала проводят следующим образом: срезанные с побегов листья тщательно моют под проточной водой мягкой губкой с бытовым моющим средством для посуды. Затем их помещают в стеклянную емкость, заливают водопроводной водой, добавляют каплю бытового моющего средства, накрывают марлей и качают на качалке 10 мин. После этого материал на 20 мин ставят под проточную воду, не снимая марли. По истечении этого времени в емкость с листьями заливают дистиллированную воду и снова качают 10 мин. Следующие этапы проводят в стерильных условиях: материал обрабатывают стерилизующим раствором, после чего по 5 мин тоекратно отмывают в стерильной дистиллированной воде на качалке. Для стерилизации берут раствор, содержащий 0,02% мертиолята и 4% белизны.

После завершения этапа обеззараживания, листья в ламинаре нарезают на сегменты — высечки с возможно большей раневой поверхностью по периметру, то есть, со срезами со всех сторон и помещают в пенициллиновые пузырьки на питательную среду Мура-сиге и Скуга (MS) с добавлением 1 мг/л 6-бензиламинопурина (БАП).

Для депонирования и мультипликации петунии в пробирочной культуре используют среду MS, половинную по макросолевому составу (1/2 MS) без добавления гормонов.

При введении в культуру *in vitro* на начальном этапе нужно добиться получения стерильных первичных эксплантов, способных образовывать каллус, из которого впоследствии будут развиваться регенеранты. Для культивирования и образования регенерантов, все экспланты помещают на полную по макросолевому составу среду MS с добавлением 1 мг/л 6-БАП. Чтобы избежать высыхания и из-за накопления продуктов жизнедеятельности, экспланты периодически пересаживают на свежие среды.

Каллусообразование на листовых высеках начинается примерно на десятый день после начала культивирования и протекает интенсивно по всей поверхности пораненной ткани. Через 14—17 дней после начала каллусообразования на всех эксплантах формируются регенеранты.

После того, как регенеранты достигают 1–3 см, их отделяют от каллуса и переносят в контейнеры на половинную по макросолевому составу безгормональную среду Мурасиге и Скуга (1/2 MS). На второй—третий день у растений начинается рост имеющихся меристем и происходит спонтанное корнеобразование. Дальнейшее микрклональное размножение и депонирование осуществляют на 1/2 MS.

Перевод из стерильных условий в грунт осуществляют постепенно, в несколько этапов. Растения достают из культуральной емкости, отмывают остатки среды под краном, после чего сажают в пластиковый контейнер, в песок, предварительно прогретый 30 мин в микроволновой печи, увлажняют и накрывают крышкой или другим таким же контейнером. Ежедневно на протяжении недели контейнеры открывают на 5–10 мин, не давая адаптирующимся растениям увядать, опрыскивая их из опрыскивателя. Постепенно время закалки увеличивают, а опрыскивание уменьшают и частично заменяют поливом. На этом этапе происходят многие изменения: переход растений с гетеротрофного на автотрофное питание, развитие устьичного аппарата, адаптация к более сухому воздуху, перепаду температур, утолщение кутикулы и т.п. Это необходимо для пробирочных растений перед использованием их в условиях открытого грунта.

Когда растения адаптируются настолько, что могут расти в открытой емкости, их пересаживают в пластиковые контейнеры, заполненные почвенной смесью, состоящей из 1 части чернозема, 2 частей песка и 2 частей верхового нейтрализованного торфа.

Укоренившиеся *in vitro* растения успешно адаптируются в закрытом грунте, переводятся в горшечную культуру и могут быть использованы для высадки в условия открытого грунта.



## **ПАТТЕРНЫ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСПОРИАЛЬНЫХ ЭМБРИОИДОВ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* ПЫЛЬНИКОВ ПШЕНИЦЫ: ВЛИЯНИЕ 2,4-Д**

**Галин И.Р.**

*Институт биологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия,  
E-mail: ilshat.rafkatovitch@gmail.com*

Объектами исследования послужили микроспориальные эмбриониды, полученные в культуре *in vitro* изолированных пыльников яровой мягкой пшеницы сорта Жница и гибридной линии Фотос.

Изучали влияние концентрации 2,4-Д на становление полярности и симметрии микроспориальных эмбрионидов. Изолированные пыльники культивировали на нескольких вариантах питательной среде Potato II, различающихся только концентрацией 2,4-Д. Установлено, что эмбриониды у сорта Жница формируются на вариантах среды, содержащей 2,4-Д в концентрациях 0.5 и 1.0 мг/л, у линии Фотос — 0.1 и 0.5 мг/л. Развитие эмбрионидов, полученных на различных вариантах питательной среды не различалось до достижения ими глобулярной стадии развития. После этого начинали появляться различия в паттернах формирования эмбрионидов. Эмбриониды первого типа, сходные с зиготическими зародышами формировались на вариантах сред, содержащих 2,4-Д в концентрациях 0.1 мг/л (Фотос) и 0.5 мг/л (Жница). Повышение концентрации 2,4-Д в питательных средах до 0.5 мг/л (Фотос) и 1.0 мг/л (Жница) приводило к формированию второго типа эмбрионидов (полиэмбрионидов), характеризующихся наличием в апикальной части нескольких меристем побега, каждая из которых имеет свой собственный щиток. Детальный гистологический анализ полиэмбрионидов выявил их одноклеточное происхождение, что исключает возможность их происхождения в результате срастания нескольких эмбрионидов первого типа.

Возможен следующий механизм формирования полиэмбрионидов: низкие уровни экзогенных ауксинов делают возможным формирование полярного градиента эндогенных ауксинов, что является необходимым условием для нормальной дифференциации эмбрионидов. По-видимому, повышение концентрации 2,4-Д в среде ведет к ее накоплению в клетках эмбрионидов и, следовательно, к нарушению полярного градиента эндогенного ауксина, который может поступать в те морфогенетически компетентные клетки апикальной части эмбриоида, где его содержание обычно низко и для дифференциации которых требуется импульс в виде потока ауксина. В результате образуются множественные меристемы побега и формируются полиэмбриониды. В целом, изучение генезиса полиэмбрионидов позволит внести уточнения в гипотезу о механизме гормональной регуляции становления полярности и симметрии в эмбриогенезе злаков и внести вклад в решение такой проблемы, как морфологическая природа органов зародыша однодольных растений, а также эволюционное становление однодольности.

## ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ МОРФОГЕНЕЗА И ВТОРИЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА КЛЕТОЧНОЙ КУЛЬТУРЫ *SAUSSUREA ORGAADAYI*

Головацкая И.Ф., Володина Н.А.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия*

*E-mail: golovatskaya.irina@mail.ru*

Открытие нейрогормона млекопитающих мелатонина (Мел) в растениях, используемых в фармакологии, определяет новые направления исследований биологически активных соединений. Имеются все основания для изучения Мел в регуляции жизнедеятельности растений, поскольку известны органоспецифическая динамика уровня этого соединения и его антиоксидантные свойства. Не меньший интерес вызывают полифункциональные растительные гормоны группы brassinosteroidов, для которых показаны антиоксидантные свойства и в человеческом организме. Удобной моделью для исследований может служить культура клеток лекарственных растений *in vitro*, имеющая собственные полезные свойства и находящаяся под строгим контролем гормонов питательной среды. Введение Мел и 24-гомобрасинолида (ГБЛ) в культуру может повысить ее значение в фармакологии, однако неизвестны ее ростовые и синтетические реакции на присутствие этих гормонов. Нами было изучено влияние Мел и ГБЛ на морфогенез и биохимический состав каллусной клеточной культуры *Saussurea orgaadayi* (V.Khan. and Krasnob.) *in vitro*.

В ходе исследования этиолированной культуры клеток горькуши на 20-е сутки культивирования было показано, что введение экзогенных гормонов в питательную среду МС изменило ее ростовые и синтетические процессы. под влиянием  $10^{-9}$ – $10^{-7}$ М ГБЛ уменьшился ростовой индекс по биомассе. С увеличением уровня гормона изменилась морфология каллуса: увеличилась доля округлых клеток среднего размера и уменьшилась доля эллипсоидных, что могло свидетельствовать о замедлении растяжения клеток. Более раннее завершение клеточного роста приводило к активации вторичного метаболизма, в том числе накопления сапонинов.  $10^{-15}$ М Мел незначительно снижал обводненность клеток, в то время как  $10^{-13}$ – $10^{-9}$ М Мел замедлял появление некроза, длительно поддерживая однородность окраски культуры клеток, что могло быть обусловлено его антиоксидантными свойствами. Низкие концентрации гормона увеличивали содержание сапонинов, более высокие обуславливали увеличение содержания фенолоспиртов.

Полученные результаты свидетельствовали о стимулирующем действии экзогенных гормонов на накопление вторичных метаболитов в клеточной культуре *S. orgaadayi*, специфически регулирующих ростовые процессы. Эти данные позволяют отнести Мел и ГБЛ к числу регуляторов вторичного метаболизма и открывают новые возможности управления продуктивностью и обменом веществ клеточной культуры.

Исследования частично поддержаны Госзаданием Минобрнауки России ВУЗам (№01201256295).

## ИЗМЕНЕНИЯ В УРОВНЕ ПОЛ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА НА КАЛЛУСНУЮ КУЛЬТУРУ ЧАЯ

**Гончарук Е.А., Клейменова Ю.Е., Нечаева Т.Л., Назаренко Л.В.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия  
E-mail: goncharuk.ewgenia@yandex.ru*

Растения в сформировавшейся на сегодняшний день экосистеме подвержены воздействию ряда стрессовых факторов. В этих условиях в них индуцируются ответные реакции и, в первую очередь, образование активных форм кислорода (АФК), обладающих высокой активностью и повреждающим действием на различные клеточные структуры. Являясь наиболее долгоживущей и реакционноспособной из всех форм АФК, перекись водорода ( $H_2O_2$ ) образуется во всех аэробных клетках растений и может являться как молекулой повреждающего действия, так и носителем информации в физиологических процессах клетки. Высокая реакционная способность молекулы и ее быстрое взаимодействие с ионами металла приводит к образованию еще более токсичного и повреждающего для всех клеток растений гидроксил-радикала. Известно, что в клетках растений существует система антиоксидантной защиты, которая предотвращает повреждающее действие АФК, и важная роль в ней отводится фенольным соединениям (ФС), которые участвуют и в реакциях элиминирования  $H_2O_2$ . В связи с этим целью нашей работы было изучение действия  $H_2O_2$  на каллусную ткань чая, обладающую нативно высоким содержанием ФС, концентрация которых может изменяться в процессе роста культуры.

Каллусную ткань чайного растения (как модельный объект изучения действия окислительного стресса на дедифференцированные клетки) в различные сроки культивирования обрабатывали раствором  $H_2O_2$  ( $10^{-4}M$ ) в течение 30 мин и анализировали содержание МДА, определяющего уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ). Известно, что один из эффектов действия АФК на клетки это инициация ПОЛ.

Установили, что при действии  $H_2O_2$  происходило незначительное повышение содержания МДА в каллусах (на 10-20% по сравнению с контролем). Некоторое увеличение инициации ПОЛ в опытных вариантах относительно контрольных можно объяснить ответной реакцией на действие стрессора. В тоже время, низкая степень развития окислительного стресса, определяется природно высоким относительно других растений содержанием ФС, как компонентов антиоксидантной системы в этой культуре.

Анализируя общее изменение уровня ПОЛ в каллусной ткани чайного растения различного возраста, следует отметить тенденцию его увеличения к середине пассажа (в 3 раза по сравнению с началом культивирования). Известно, что интенсивность ПОЛ определяется не только уровнем окислительного стресса, но и активностью антиоксидантной системы. В связи с этим выявленные изменения уровня ПОЛ вероятно вызваны различным содержанием ФС в период роста культуры.

**ВЛИЯНИЕ МЕТИЛЖАСМОНАТА НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СОДЕРЖАНИЕ  
ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЕ  
ГРЕЧИХИ ТАТАРСКОЙ *F. TATARICUM* (L.) GAERTN.**

**Гумерова Е.А., Иванова А.С., Румянцева Н.И.**

*Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, г. Казань, Россия*

*E-mail: gumeri@mail.ru*

Гречиха татарская *F. tataricum* (L.) Gaertn. является источником ценных пищевых и фармакологических соединений, в том числе фенольной природы, которые играют важную роль в осуществлении защитных реакций у растений. Известно, что синтез фенольных соединений у растений может активироваться различными стрессовыми факторами, в том числе метилжасмонатом (MeJA).

Целью нашей работы было исследовать влияние экзогенного MeJA ( $10^{-8}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-5}$  М) на рост морфогенной суспензионной культуры гречихи татарской, а также на содержание в ней фенольных соединений (ФС) и их антиоксидантную активность.

MeJA в исследуемых концентрациях практически не влияет на жизнеспособность культуры и накопление биомассы, но незначительно снижает содержание белка в ткани при увеличении концентрации. При увеличении концентрации MeJA наблюдали рост содержания ФС в ткани до 50% по сравнению с контролем. При этом антиоксидантная активность (АА) фенольных соединений снижалась до 35%.

При действии MeJA в концентрации  $10^{-5}$  М наблюдали резкое снижение жизнеспособности культуры на 4 сутки пассажа (разница между контролем и опытом доходила до 77%). К 8 суткам разрыв уменьшался до 26%, к концу пассажа (14 сутки) он составлял 10%. Воздействие MeJA приводило к увеличению содержания ФС на протяжении всего пассажа (от 20 до 57%), причем увеличение содержания ФС до 57% наблюдали уже в самом начале культивирования, на 4 сутки. Это согласуется с визуально наблюдаемой реакцией — потемнением клеток культуры в течение первых 3-х суток даже при использовании самой низкой концентрации MeJA ( $10^{-8}$  М). К особенностям реакции культуры на MeJA следует отнести также более ранний по сравнению с контролем максимум накопления ФС в ходе пассажа. Это происходит уже на 8 сутки против 14-16 суток в контроле. В дальнейшем отмечается снижение содержания ФС, видимо, вследствие дегградации и/или вымывания ФС в среду культивирования.

Таким образом, основная реакция культуры на MeJA наблюдается в первые сутки культивирования, далее в ходе пассажа происходит адаптация культуры к изменившимся условиям. Следует также отметить способность MeJA оказывать влияние на суспензионную культуру гречихи в очень низких концентрациях (до  $10^{-8}$  М), (по литературным данным MeJA в основном используют в концентрациях от  $10^{-4}$  М).

## МОДИФИКАЦИЯ ПАРТЕНОГЕНЕТИЧЕСКОГО И ПОЛОВОГО ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

Демихова Д.С., Смолькина Ю.В., Тырнов В.С.

*Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,  
Саратов, Россия  
E-mail: Demihovads@mail.ru*

Возможности и перспективы использования редуцированного партеногенеза (гаплоидии) для решения многих физиологических, генетических и биотехнологических задач в настоящее время понятны и подтверждены экспериментально. Ограничивающим фактором была лишь низкая частота экспериментально получаемых гаплоидов. Нами выявлены пути преодоления этого ограничения и показана возможность для кукурузы получения партеногенетических гаплоидов с частотами от 10 до 100%. Способность к партеногенезу определяется генетическими ядерными факторами, которые могут передаваться потомству через яйцеклетки и пыльцу. Однако столь высокие частоты гаплоидии породили новую нежелательную проблему прикладного селекционного и семеноводческого характера. Поскольку линии, сорта или популяции, создаваемые на основе гаплоидов, будут нести генетические факторы их обуславливающие, то возникает риск появления большого количества гаплоидов в производственных коммерческих посевах, что неизбежно привело бы к падению уровня урожайности. Поэтому новую задачу можно определить так.. Технология использования гаплоидии должна быть таковой, чтобы на этапе создания линий (или другого селекционного материала) гаплоиды можно было получать в огромном количестве, а в производственных посевах они бы отсутствовали или встречались в единичных экземплярах.

Эта задача была решена нами путём использования разных механизмов генетической детерминации партеногенеза и некоторых паратипических факторов, влияющих на выход из состояния покоя неоплодотворённых клеток женского гаметофита.

Наряду с матроклинной гаплоидией огромный интерес представляет андрогенез *in vivo*, или просто –андрогенез (синонимы: мужской партеногенез, овулярный андрогенез, патрогенез). (Не путать с довольно распространённым неправильным понятием «андрогенез *in vitro*»). Андрогенез явление, когда ядра яйцеклетки и спермия не сливаются и возникает особь, имеющая ядро отцовской формы и материнскую цитоплазму. Это позволяет быстро (вместо многолетних беккроссов) получать аллоплазматические линии, в том числе аналоги с ЦМС. Андрогенные растения возникают обычно с частотами реже чем 1:100000. Нами найдены пути их получения чаще более чем на 2 порядка. Показано сильное влияние цитоплазматических факторов на ряд признаков, в том числе структуры урожая и длину вегетационного периода. Также как в случае с матроклинной гаплоидией, возможно регулирование частот андрогенеза генетическими и паратипическими факторами.

## РАСТИТЕЛЬНО-БАКТЕРИАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* ПШЕНИЦЫ И КАРТОФЕЛЯ

**Евсеева Н.В.<sup>1</sup>, Ткаченко О.В.<sup>2</sup>, Матора Л.Ю.<sup>1</sup>, Бурыгин Г.Л.<sup>1</sup>, Бойкова Н.В.<sup>2</sup>,  
Лобачев Ю.В.<sup>2</sup>, Щеголев С.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимии  
и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, Россия.

E-mail: [evseeva@ibppm.sgu.ru](mailto:evseeva@ibppm.sgu.ru)

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования Саратовский государственный аграрный университет  
им. Н.И.Вавилова, Саратов, Россия.

E-mail: [oktkachenko@yandex.ru](mailto:oktkachenko@yandex.ru)

Симбиотические ассоциации представляют собой одну из основных форм существования организмов в биосфере. Использование потенциала ассоциативных бактерий, стимулирующих рост и развитие растений, открывает перспективы получения высококачественных, экологически чистых продуктов питания. Признанным модельным объектом в исследовании феномена растительно-микробной ассоциативности являются бактерии рода *Azospirillum*, благодаря их способности увеличивать продуктивность сельскохозяйственных культур.

Цель данных исследований — создание активных ассоциаций бактерий *Azospirillum brasilense* Sp245 с клетками и тканями однодольных (пшеница) и двудольных (картофель) растений, культивируемых *in vitro*. При этом использовались не только целые бактериальные клетки, но и изолированные ЛПС. Были использованы традиционные методы морфометрической оценки состояния клеточных и тканевых культур, иммуноферментного анализа молекулярного маркера меристематических клеток пшеницы (пролиферативного антигена инициалей — ПАИ) и иммунофлуоресцентной микроскопии на основе специфических антител к клеткам *A. brasilense* Sp245. Анализ полученных результатов показал, что в определенных условиях азоспириллы инокулируют корни микроклонов картофеля в культуре *in vitro* и способны оказывать на них рост-стимулирующее влияние, что в дальнейшем может способствовать повышению адаптации растений к условиям выведения в грунт (*ex vitro*). При изучении влияния бактериального ЛПС на морфогенетический потенциал каллусных клеток пшеницы было установлено, что эти молекулы стимулируют, но и регулируют морфогенетические процессы в соматических тканях пшеницы, повышая эффективность культивирования генотипов с низким эмбрионным потенциалом.

Дальнейшие исследования актуальны в направлении стандартизации создания ассоциативного симбиоза растений с рост-стимулирующими бактериями, в частности, с азоспириллами, в целях получения новых данных о молекулярных и клеточных механизмах ассоциативных растительно-бактериальных взаимодействий, а также оптимизации морфогенетических процессов в культуре *in vitro* и дальнейшей адаптации растений к условиям *ex vitro*.

## ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА РЕГЕНЕРАЦИЮ ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ САЛАТА *LACTUCA SATIVA* L. СОРТА ОДЕССКИЙ КУЧЕРЯВЕЦ

Елисеева Ю. В., Матвеева Н. А.

*Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина  
e-mail: eliseevauv@ukr.net*

На сегодняшний день большие успехи достигнуты в получении трансгенных растений. Одним из способов их размножения является регенерация. В большинстве случаев регенерация видоспецифична, поэтому методики требуют оптимизации для каждого вида и сорта растений. Объектом наших исследований были трансгенные растения салата *Lactuca sativa* L. сорта Одесский Кучерявец.

Исходным материалом служили корни растений салата, которые получили ранее с помощью *Agrobacterium rhizogenes*-опосредованной трансформации (вектор *pCB161*, целевой ген *ifn- $\alpha$ 2b*, селективный ген *nptII*).

Для оптимизации условий регенерации использовали среды МС (Murashige, Skoog, 1962) с добавлением 2,5 мг/л кинетина и 0,5 мг/л  $\alpha$ -нафтилуксусной кислоты (НУК); 2,5 мг/л бензиламинопурина (БАП) и 0,5 мг/л НУК; 0,5 мг/л кинетина и 0,05 мг/л НУК; 0,5 мг/л БАП и 0,05 мг/л НУК; 5 мг/л БАП и 0,5 мг/л НУК; 5 мг/л кинетина и 0,5 мг/л НУК. Корни культивировали при 24°C, 16-часовом световом периоде до начала регенерации.

Через 14 дней образовывалась каллусная ткань по всей длине корня с частотой 100%. Скорость роста, цвет, консистенция каллуса зависели от состава среды. Так, на средах МС с 0,5 мг/л кинетина и 0,05 мг/л НУК; 0,5 мг/л БАП и 0,05 мг/л НУК наблюдалось наибольшее количество образованного каллуса, на среде МС с 5 мг/л БАП и 0,5 мг/л НУК — наименьшее. На 30-ый день культивирования начиналась регенерация на средах с 2,5 мг/л БАП и 0,5 мг/л НУК (20%); 0,5 мг/л кинетина и 0,05 мг/л НУК (20%); 5 мг/л БАП и 0,5 мг/л НУК (7%).

Наибольшая эффективность регенерации (5 растений на эксплант) оказалась при использовании среды МС с 2,5 мг/л БАП и 0,5 мг/л НУК. На средах с 2,5 мг/л кинетина и 0,5 мг/л НУК; 0,5 мг/л БАП и 0,05 мг/л НУК; 5 мг/л кинетина и 0,5 мг/л НУК регенерация отсутствовала.

В результате эксперимента отмечено, что оптимальной для регенерации растений является среда МС с 2,5 мг/л БАП и 0,5 мг/л НУК. Уменьшение количества БАП в среде приводит к увеличению образования каллуса и к отсутствию регенерации. Увеличение количества БАП приводит к резкому снижению образования каллуса и полному отсутствию регенерантов. Количество НУК в среде в пределах от 0,05 мг/л до 0,5 мг/л практически не влияет на образование каллуса и регенерацию. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для микроклонального размножения трансгенных растений салата.



**ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ СЕЛЕНА НА РОСТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗЫ КАРТОФЕЛЯ *IN VITRO* СОРТА ЛУГОВСКОЙ**

**Живетьев М.А., Перфильева А.И., Папкина А.В., Граскова И.А., Боровский Г.Б.**

*УРАН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия*

*E-mail: nik.19@mail.ru*

Одним из перспективных направлений современной науки является направленный синтез на основе матриц природного происхождения с целью получения продуктов с заданными свойствами. Использование в качестве такой матрицы растительных полисахаридов позволили получить разнообразные по структуре и обладающие новыми свойствами производные. Усиление интереса к антимикробному действию нанокмполитов связано с явлением антибиотико-резистентности патогенных микроорганизмов. Кроме того, нанокмполиты оказывают бактерицидное действие, но при этом мало токсичны для растительных и животных организмов. Ранее нами было показано бактерицидное действие нанокмполитов селена на возбудителя кольцевой гнили картофеля. На данном этапе исследований требовалось отследить влияние этих нанокмполитов на растения картофеля (*in vitro*) для оценки возможности их использования на практике. Исследовалось влияние двух нанокмполитов с разным содержанием селена и непосредственно их неорганических предшественников — оксида селена и бис-диселенофосфината натрия, а также арабиногалактана — органического полимера, служащего матрицей в исследуемых нанокмполитах. Изучалась скорость роста (прирост) и активность гваякол-пероксидазы растений картофеля *in vitro* сорта Луговской в течение десяти дней культивирования в жидкой питательной среде с добавлением исследуемых агентов. Содержание селена в растворе составляло 0,000625%. Показано, что селен в составе нанокмполитов оказывал слабое ингибирующее воздействие и даже в ряде случаев обладал стимулирующим воздействием, в то время как селен, не связанный с арабиногалактаном, оказывал выраженное угнетающее действие не только на ростовые, но и биохимические характеристики растений. Особенно сильно такое влияние наблюдали для оксида селена, который сильно ингибировал активность пероксидазы и тормозил прирост стеблей растений. Нанокмполит с более выраженным бактерицидным потенциалом и большим (3,4%) содержанием селена не обладал токсическим действием на растения картофеля, что позволяет предлагать его для более глубокого изучения с целью дальнейшего применения на практике.

## **БАЗА ДАННЫХ БВИР — ИНТЕРНЕТ-РЕСУРС ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ И ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ТРАНСГЕНЕЗУ РАСТЕНИЙ.**

**Ибрагимова С.М., Смирнова О.Г., Рассказов Д. А., Кочетов А.В.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт цитологии  
и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

*E-mail: [isola@bionet.nsc.ru](mailto:isola@bionet.nsc.ru)*

Использование методов генной инженерии в биотехнологии растений привело к созданию форм растений с новыми полезными свойствами. ГМ растения являются продуцентами белков фармацевтического назначения, используются для биоремедиации почв и получения биотоплива. Получены ГМ растения устойчивые к абиотическим и биотическим факторам окружающей среды. Получение ГМ растений с заданными свойствами требует грамотного планирования эксперимента для достижения поставленной цели, что невозможно без адекватной информационной поддержки. Специализированные ресурсы для поддержки биотехнологических экспериментов в открытом доступе отсутствуют.

Разработан специализированный интернет ресурс БВИР (База данных внешних информационных ресурсов по биотехнологии растений) для планирования и поддержки экспериментов по трансгенезу у растений.

База данных доступна по адресу: [http://www.mgs.bionet.nsc.ru/mgs/dbases/dbeir\\_ru/home.html](http://www.mgs.bionet.nsc.ru/mgs/dbases/dbeir_ru/home.html).

БВИР содержит ссылки на доступные интернет ресурсы, содержание которых описывает отдельные этапы процесса получения трансгенных растений (выбор организма, выбор генов-мишеней, дизайн генетической конструкции) доступные с единого портала:

- а) базы данных, содержащих информацию об известных генетически модифицированных культурах растений, а также пищевых и полезных растениях;
- б) базы данных, содержащих информацию о генах, белках, ферментах, метаболитах, метаболических и генных сетях высших растений;
- в) базы данных, содержащих информацию об отдельных этапах дизайна генетической конструкции, включая подбор адекватного промотора, энхансеров трансляции, выбора вектора, плазмиды для трансформации;
- г) базы данных, содержащих информацию о способах трансформации и получения трансгенных растений;
- д) базы данных, содержащих информацию о способах культивирования трансгенных растений;
- е) информационные ресурсы по использованию трансгенных растений в программах по получению биотоплива и биопрепаратов.

База состоит из одной таблицы, содержащей 4 поля: 1) название интернет ресурса (базы данных), 2) адрес ресурса в сети Интернет, 3) содержание интернет ресурса и возможности его использования, 4) ключевые слова — термины основных понятий информация, о которых содержится в ресурсе.

Поиск необходимого ресурса осуществляется по ключевым словам. Дополнительную информацию можно получить из комментария к ресурсу. БВИР является одним из модулей информационного портала «Биотехнология растений» (<http://bioagrotech.bionet.nsc.ru/index.html>), разрабатываемого в ИЦиГ СО РАН.

## **ПРИЖИЗНЕННАЯ КИСЛОТНОСТЬ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН ОСТРОЛОДОЧНИКА БАШКИРСКОГО В УСЛОВИЯХ *IN VIVO* И *IN VITRO***

**Круглова А.Е.**

*Институт биологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия*

*E-mail: aneta@ufaras.ru*

Объект исследования — остролодочник башкирский *Oxytropis baschkirensis* Knjasev (семейство Fabaceae Lindl.), редкий вид флоры Южного Урала. В связи с разработкой биотехнологии получения регенерантов этого вида в культуре пыльников *in vitro* изучали один из важных физиологических показателей клетки — прижизненную кислотность (рН). Значение этого параметра оценивали в пыльцевых зернах зрелых пыльников в условиях *in vivo* перед инокуляцией на питательную среду и в пыльниках через 7 сут культивирования *in vitro*. Концентрацию водородных ионов определяли индикаторным методом с помощью нейтрального красного, постепенно меняющего цвет от различных оттенков красного в кислой среде до различных оттенков желтого в щелочной среде. В качестве эталона служила шкала растворов нейтрального красного, приготовленная на буферных смесях, имеющих диапазон 5.0-9.0 единиц с интервалами в 0.1 единицы. Для цитологического контроля использовали метод давленных препаратов, модифицированный нами применительно к пыльцевым зернам о. башкирского. Установлено, что пыльцевые зерна в условиях *in vivo* характеризовались значительным полиморфизмом рН (4.0-7.5), обладая как кислотными, так и слабощелочными свойствами. При этом нормально развитые (жизнеспособные) зрелые двуклеточные пыльцевые зерна обладали слабокислым показателем рН 5.6-5.8, тогда как аномальные (нежизнеспособные) пыльцевые зерна — слабощелочным показателем рН 7.2-7.5. Зрелые пыльники инокулировали на питательную среду Мурасиге–Скуга со слабокислым значением рН 5.7, соответствующим рН нормально развитых зрелых пыльцевых зерен. Через 7 сут культивирования *in vitro* в темноте при температуре +27°С значение концентрации водородных ионов в цитоплазме пыльцевых зерен характеризовалось диапазоном 4.5-6.0 при превалировании слабокислого показателя рН 5.6-5.8 и отсутствии пыльцевых зерен со слабощелочным значением рН. Полученные данные, на наш взгляд, могут быть интерпретированы как следствие адаптации пыльцевых зерен к культивированию *in vitro* на слабокислой питательной среде. С другой стороны, полученные результаты свидетельствуют о необходимости эмпирического подбора показателя рН культуральной среды для инокуляции пыльников *in vitro*, соответствующего показателю рН нормально развитых пыльцевых зерен растений в условиях *in vivo*.

## РАЗВИТИЕ ЗАРОДЫШЕЙ РЕГЕНЕРАНТОВ ПШЕНИЦЫ, ПОЛУЧЕННЫХ В ЭМБРИОКУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

**Круглова Н.Н.**

*Институт биологии Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия*

*E-mail: Kruglova@anrb.ru*

Эмбриокультура *in vitro* как использование разновозрастных зародышей (Батыгина, 1987) позволяет создать условия для наиболее полной реализации онтогенетических программ зародыша и тем самым служить основой для разработки инновационных биотехнологий получения растений с заранее заданными свойствами. Цель исследования состояла в оценке эмбриологических показателей растений-регенерантов яровой мягкой пшеницы, полученных в условиях эмбриокультуры *in vitro* прямым способом (без этапа формирования каллуса). Объектом исследования послужили 10 гибридных комбинаций яровой мягкой пшеницы, полученных в лаборатории селекции яровой пшеницы Башкирского НИИ СХ РАСХН (г. Уфа) и предоставленных согласно договору о сотрудничестве на 2011-2015 гг. Установили, что к формированию проростков прямым способом приводит использование в качестве экспланта зародышей в стадии автономности (15-17 сут после искусственного опыления). Такие зародыши размещали в условия культуры *in vitro* на питательную среду, подготовленную по прописи Murashige, Skoog (1962) в модификации know how ИБ УНЦ РАН № 11/2012, и выращивали до формирования проростков в фенофазе 3-го листа. В результате дальнейшего культивирования проростков *in vitro* до фенофазы кущения на питательной среде Blaydes (1966) традиционного состава, а также их выращивания *ex vitro* в лабораторных почвенных условиях получили растения-регенеранты в фенофазе полной спелости зерна. Общепринятыми цито-гистологическими методами (Барыкина с соавт., 2004) провели сравнительный анализ развития зародышей растений-регенерантов и донорных растений. Установили соответствие донорных растений и растений-регенерантов по структуре зародышей на каждой стадии эмбриогенеза. В обеих изученных группах растений аномальных зародышей не обнаружили. В то же время у растений-регенерантов выявили ускорение темпов эмбриогенеза так, что формирование зрелого зародыша у них происходило на 5-7 сут (в зависимости от гибридной комбинации) ранее аналогичного показателя донорных растений. Полученные результаты свидетельствуют о принципиальной возможности использования автономных зародышей пшеницы для дальнейших биотехнологических исследований.

Исследование поддержано грантом Программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России: динамика в условиях глобальных климатических и антропогенных воздействий» (2012-2014 гг.).

**КУЛЬТИВИРУЕМЫЕ *IN VITRO* КОРНИ ДВУХ ВИДОВ ШЛЕМНИКОВ  
КАК ПРОДУЦЕНТЫ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФЛАВОНОВ**

**Кузовкина И.Н.<sup>1</sup>, Гусева А.В.<sup>1</sup>, Прокофьева М.Ю.<sup>1</sup>, Умралина А.Р.<sup>2</sup>, Чернышева Т.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физиологии растений им.К.А.Тимирязева РАН, Москва, РФ*

*E-mail: ikuz@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт биотехнологии НАН КР, Бишкек, КР*

*E-mail: umralina@gmail.com*

На примере генетически трансформированных корней двух видов растений шлемника—*Scutellaria.baicalensis* и *Sc. andrachnoides* доказано, что культивируемые *in vitro* корни (*hairy roots*) растений можно рассматривать как источник альтернативного и экологически чистого сырья, которое по всем своим параметрам в состоянии компенсировать дефицит естественно произрастающих ценных лекарственных растений. Культивируемые корни шлемников стабильно растут и синтезируют основные флавоны, типичные для этих растений, причем в количествах, сопоставимых с их содержанием в корнях интактных растений. Обнаружено, что *hairy roots* шлемников выгодно отличаются от корней исходных растений по соотношению в них основных флавонов. В них доминируют флавоны вогонозид и вогонин, а не байкалин и байкалеин, как в корнях целых растений, что обусловлено первичной структурой корней, не имеющих вторичных утолщений. Условия выращивания *hairy roots* позволяют регулировать количественное соотношение в них флавонов-глюкоронидов и флавонов-агликонов, что представляет в настоящее время большой практический интерес в связи с обнаружением у агликона вогонина свойства индукции апоптоза только онкогенных клеток. Проведенный скрининг физиологической активности экстрактов *hairy roots Sc.baicalensis* и сравнение ее с активностью экстрактов корней растений в системах *in vitro* и *in vivo* доказал, что *hairy roots* не уступают корням целых растений, а по цитотоксической активности их даже опережают. Апробированное культивирование *hairy roots Sc.baicalensis* в ферментере швейцарской фирмы ROOТес показало, что корни прекрасно растут в условиях 100-дневного туманного орошения и синтезируют флавоны, причем в том же соотношении, что и корни, выращенные в колбах. Этот эксперимент доказывает перспективность крупно масштабного культивирования корней шлемников и делает возможным направленное регулирование образования в *hairy roots* флавона вогонина за счет элиситации корней и активации в них эндогенной  $\beta$ -глюкуронидазы в период стационарной фазы роста культуры. Отработанная стратегия культивирования корней шлемников в состоянии обеспечить оптимальные условия для биосинтеза флавона с уникальной селективной цитотоксической активностью, причем в несравненно большем количестве, чем это можно ожидать от корней целых растений. Одновременно, крупно масштабное культивирование корней шлемников может способствовать сохранению ценных дико растущих растений, не контролируемый сбор которых приводит к их полному исчезновению.

## СПОСОБ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ К ЗАРАЖЕНИЮ НЕМАТОДОЙ И ДЕЙСТВИЮ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ

Лаврова В.В.<sup>1</sup>, Сысоева М.И.<sup>1</sup>, Матвеева Е.М.<sup>1</sup>, Шерудило Е.Г.<sup>1</sup>, Котова З.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Карельская ГСХОС Россельхозакадемии, Новая Вилга, Россия

E-mail: vvlavrova@mail.ru

Растения в природе произрастают в условиях нестабильного суточного климата, характеризующегося резкими колебаниями температур, особенно в ранневесенний период. Помимо неблагоприятного температурного режима на ранних этапах онтогенеза они подвержены различного вида инфекциям, что влияет на их рост, развитие и продуктивность. Получение высокого урожая в неблагоприятных условиях внешней среды и одновременно инфицированности почв почвообитающими патогенами является составной частью продовольственной безопасности России. Для решения этой задачи успешно применяются новые биотехнологии, основанные на микроклональном размножении растений.

Культивирование меристемных растений картофеля (*Solanum tuberosum*, с. Елизавета) *in vitro* проводили путем микрочеренкования на модифицированную питательную среду Мурасиге-Скуга с последующим выращиванием в течение 3-х недель при 23/18°С. Перед высадкой в грунт меристемные растения в фазе 6-8 листьев подвергали в течение 6 суток ежесуточному 2-часовому воздействию низкой температуры 5°С. Спустя 2 недели после высадки растения-регенеранты заражали цистами картофельной нематоды. В ходе вегетации определяли холодоустойчивость листьев методом ЛТ<sub>50</sub> и уровень заражения растений.

Используемый способ микроклонального размножения растений картофеля повышал холодоустойчивость растений-регенерантов на 55% и снижал уровень их заражения — на 53%.

Таким образом, предложенный способ микроклонального размножения растений позволяет получать на питательных средах *in vitro* не только генетически однородный безвирусный, но и адаптированный к выращиванию в неблагоприятных условиях естественной среды посадочный материал (меристемные растения-регенеранты) — холодостойкие и устойчивые к заражению нематодой растения картофеля.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОБН РАН «Биоресурсы 2012-2014» (№ г.р. 01201262103) и Программы «У.М.Н.И.К.».

## РОСТ, МОРФОЛОГИЯ И БИОБЕЗОПАСНОСТЬ ТРАНСГЕННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ЛЕСНЫХ ПОРОД С ЦИТОЗОЛЬНОЙ ФОРМОЙ ГЕНА GS СОСНЫ

**Лебедев В.Г.<sup>1</sup>, Салмова М.А.<sup>1</sup>, Розова Х.А.<sup>2</sup>, Ларионова А.А.<sup>3</sup>, Шестибратов К.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Филиал Федерального государственного учреждения науки*

*Института биоорганической химии*

*им. академиков М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН, Пушкино, Россия*

<sup>2</sup>*Пуцинский филиал МГУ им. М.В.Ломоносова, Пушкино, Россия*

<sup>3</sup>*Федеральное государственное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия*

*E-mail: vglebedev@mail.ru*

Азот является основным питательным элементом для растений и доступность его неорганических форм часто является лимитирующим фактором их роста. С целью повышения продуктивности лесных пород мы клонировали цитозольную форму гена глутамин синтетазы GS1 из сосны обыкновенной и путем агробактериальной трансформации перенесли его в растения осины (*Populus tremula* L.) и березы (*Betula pubescens* Ehrh.). Полученные трансгенные растения были высажены в сосуды с природной почвой и оценивались в течение трех лет в условиях теплицы (2009-2010) и открытой площадки (2011). у осины с геном GS1 наблюдалось увеличение высоты растений до 23%, а объема древесины— до 41% относительно контроля. Среди растений березы было идентифицировано две линии с ослабленным (на 25-31%) и одна линия с усиленным (на 41%) ростом. Объем древесины этих линий был на 26-49% ниже или на 74% выше по сравнению с контролем. Содержание общего азота во флоэме растений осины коррелировало с их высотой. Измерение клеток ксилемы выявило значительное утолщение (до 2,5 раз) клеточной стенки у трансгенных растений осины, но не у березы. Анализ листьев с помощью программы LAMINA не показал существенных различий между трансгенными растениями и контролем по таким параметрам, как площадь листьев, их длина, ширина, горизонтальная или вертикальная симметрия. Однако некоторые линии значительно отличались от контрольных по округлости листьев (до 6%) или количеству зубчиков (11%). Для определения возможного влияния трансгенных растений на почвенную экосистему в конце каждого вегетационного сезона мы оценивали активность почвенных ферментов. Была проанализирована активность таких ферментов, как дегидрогеназа, нитрат редуктаза, щелочная фосфатаза и арилсульфатаза, включенных в циклы углерода, азота, фосфора и серы, соответственно. Различия между трансгенными растениями и контролем были незначительными, за исключением нескольких линий, однако обнаруженные отклонения не воспроизводились в последующие годы. Также была проведена оценка разложения древесного растительного материала в условиях 80, 50 и 20%-ной влажности путем определения эмиссии CO<sub>2</sub>. Показано, что растения с ускоренным ростом отличались и повышенной скоростью разложения древесины.



## МИКРОРАЗМНОЖЕНИЕ РЕДКИХ РАСТЕНИЙ

**Магомедалиева В.К.**

*Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия*  
*E-mail: taminamariamka@mail.ru*

Микроразмножение редких растений становится необходимостью, когда они в природе воспроизводятся слабо семенами и вегетативно. К таким растениям в Дагестане относится скабиоза гумбетовская (*Scabiosa gumbetica*). При этом задача состояла в подборе условий *in vitro* для управления морфогенезом эксплантов узловых зеленых побегов и каллуса. Экспланты для опытов стерилизовали 0,1 %-м раствором сулемы ( $\text{HgCl}_2$ ) в течение 8-10 минут. Культивировали на питательной среде по вариантам: МС+ИМК (0.5 мг/л)+БАП (2.5 мг/л) (1), МС+БАП (2.5 мг/л) (2), МС+БАП (0.5 мг/л) (3). Учитывали выживаемость, рост, образование каллуса, корней, почек и побегов.

При культивировании у 25 % узловых эксплантов зеленых побегов на 44 сутки отмечена закладка корней. у эксплантов первично и вторично пассированного каллуса на 40 сутки в варианте 1 наблюдались 100 % выживаемость и рост, у 50 %- закладка почек. Ризогенез составил 100 и 80 %. Обнаружены отличия в структуре и окраске эксплантов и каллусов. у вторично пассированного каллуса на 40 сутки в варианте 2 наблюдались закладка корней, почек и побегов (95, 80, 33 %). При пассировании побегов из каллусов на 25 сутки культивирования в варианте 1 отмечен только рост их эксплантов, а на 60 сутки в варианте 3 у 60 % эксплантов побегов — закладка эксплантов и почек.

У эксплантов каллуса на 60 сутки в варианте 1 закладка почек и побегов составляло 43 и 14 %, а на 25 сутки в варианте 3 у 33 % эксплантов наблюдалось закладки почек и побегов.

Таким образом, удалось выяснить благоприятные условия для управления морфогенезом эксплантов побегов и каллуса.

## **МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ ДВУХ ШТАММОВ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР СТЕБЛЯ ЧАЙНОГО РАСТЕНИЯ (*CAMELLIA SINENSIS* L.)**

**Нечаева Т.Л., Азаркович М.И., Загоскина Н.В.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*  
*E-mail: NechaevaTatyana.07@yandex.ru*

При изучении особенностей метаболизма высших растений широко и успешно используются клеточные культуры *in vitro*, характерной особенностью которых является сохранение свойств интактных тканей. И в этом плане большой интерес вызывают фенольные

соединения (ФС), которые участвуют в жизненно важных процессах, таких как дыхание, фотосинтез, антиоксидантная система защиты при стрессе. Подходящей моделью являются каллусные культуры чайного растения, характеризующиеся высокой способностью к образованию различных ФС.

Целью работы являлось сравнение морфологических характеристик, содержания ФС и состава белков у двух штаммов чайного растения (*Camellia sinensis* L., грузинская разновидность), отличающихся по биосинтетической способности.

Для исследования были взяты штаммы ИФР ЧС-1 и ЧС-2, инициированные из молодых неодревесневших стеблей чайного растения в 1971 г. и в 1977 г., соответственно. Каллусные ткани выращивали в темноте на модифицированной питательной среде Хеллера, содержащей 2,4-Д (5 мг/л) и глюкозу (25 г/л), при 25°С. Длительность пассажа составляла 45 дней. из свежих каллусных тканей ФС извлекали 96% этанолом. В экстрактах определяли содержание суммы ФС (с реактивом Фолина-Дениса) и флаванов (с ванилиновым реактивом).

Штамм ЧС-1 представлял собой мелко агрегированную ткань светло-бежевого цвета, а штамм ЧС-2 был крупным, плотным, желтовато-коричневым. Оводненность культур составляла 92-94%. у штамма ЧС-2 содержание суммы растворимых ФС было в 15 раз выше, чем у штамма ЧС-1, а содержание флаванов — в 25 раз. Все это свидетельствует о том, что длительно пассируемый в условиях *in vitro* штамм ЧС-1 обладал очень низкой способностью к образованию ФС по сравнению со штаммом ЧС-2.

В связи с тем, что белки являются участниками почти всех метаболических процессов в растительных тканях, провели изучение их состава в каллусных культурах чая. Суммарный белок выделяли осаждением 10% ТХУ с последующим растворением в sample-буфере с мочевиной. Количественное содержание белка в каллусах определяли по методу Брэдфорд. Фракционирование белков проводили в 7% ПААГЕ с SDS по методу Лэмли. Как показали наши данные, в штамме ЧС-2 состав белков был значительно более разнообразен, чем в штамме ЧС-1. Выявлены и различия в содержании отдельных компонентов.

Таким образом, штаммы чайного растения отличались не только по морфо-физиологическим характеристикам, но и по составу белков и накоплению ФС, что может быть следствием отличий в их цитогенетических характеристиках.

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЭКСПРЕССИЯ БЕЛКОВ В МОРФОГЕННОМ И НЕМОРФОГЕННОМ КАЛЛУСАХ ГРЕЧИХИ ТАТАРСКОЙ

**Никонова Н.А.<sup>1</sup>, Хаертдинова Л.Р.<sup>1</sup>, Костюкова Ю.А.<sup>1</sup>,  
Ризванов И.Х.<sup>2</sup>, Румянцева Н.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский институт биохимии и биофизики Казанского научного центра РАН, Казань, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органической и физической химии Казанского научного центра РАН, Казань, Россия  
E-mail: nikonorova\_nat@mail.ru

Длительное культивирование *in vitro* приводит к постепенному снижению морфогенного потенциала клеток, вплоть до полной потери способности к какому-либо типу морфогенеза, что сопровождается изменениями в морфологии и метаболизме. Переход от эмбрионных культур к культурам, полностью утратившим способность к формированию целого растения или органа, по-видимому, связан со значительными перестройками клеточного метаболизма и изменением экспрессии генов и белков. Полученные в нашей лаборатории морфогенные каллусы (МК) гречихи татарской сохраняют способность к морфогенезу в течение длительного времени культивирования. Это позволяет использовать морфогенные и полученные из них неморфогенные культуры (НК) для изучения механизмов морфогенеза и его регуляции. Целью данной работы было проведение сравнительного анализа белков морфогенных и неморфогенных каллусов гречихи татарской.

В ходе работы нами было показано, что с первых дней культивирования НК отличался высокими темпами роста, для него был характерен высокий уровень митотической активности. К концу пассажа значения прироста сырой и сухой биомассы НК были выше по сравнению с МК в 14 и 11 раз, соответственно. В отличие от НК, для которого характерна типичная S-образная кривая роста, в МК было отмечено отсутствие четко выраженной экспоненциальной и стационарной фаз развития. Также показано, что общее содержание белка в НК было в 2-2,5 раза ниже в ходе пассажа, чем в МК.

Для анализа спектров белков МК и НК был проведен двумерный гель-электрофорез. Для дальнейшего изучения нами были отобраны 60 белков, которые отличались по уровню экспрессии или были специфичными для каждой культуры. Из них методом MALDI-TOF масс-спектрометрии были идентифицированы 39 белков. Идентифицированные белки были разделены на группы согласно их локализации и функции в клетке. Большая часть идентифицированных белков имела пластидную и ядерную локализацию и была связана с метаболизмом белков, регуляцией, защитой и ответными реакциями на стрессоры. Тот факт, что большинство белков, идентифицированных в нашей работе, являлись пластидными и ядерными, может свидетельствовать о серьезных изменениях в этих органеллах. Это предположение также подтверждается ультраструктурным и цитогенетическим анализом клеток. В отличие от МК, для которой характерны преобладание диплоидного набора хромосом и нормальная форма ядер и пластид, в НК наблюдаются очень высокий уровень анеуплоидии и полиплоидии, лопастные ядра, а также амебоидные и чашеобразные пластиды.

## КЛЕТОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А.М.Носов

*Биологический факультет Московского государственного университета*

*имени М.В.Ломоносова*

*E-mail: al\_nosov@mail.ru*

Биологически-активные вещества растительного происхождения (БАВ) играют важнейшую роль в современной медицине, пищевой и косметической промышленности. Их использование часто ограничено доступностью растительных ресурсов, прежде всего дикорастущих растений, интенсивный сбор которых ставит под угрозу исчезновения многие редкие виды растений. В этой связи поиск новых источников возобновляемого растительного сырья важен не только с экономической, но и экологической точки зрения.

Клеточные технологии получения БАВ растительного происхождения достаточно активно разрабатывают во многих лабораториях мира. Основой большинства из них является получение биомассы культур клеток высших растений путем выращивания клеток в промышленных биореакторах, однако до настоящего времени известны лишь единичные примеры успешных коммерческих производств подобного типа. Главными причинами сложившейся ситуации являются недостаточная продуктивность культур клеток по вторичным метаболитам и высокая стоимость их выращивания. Используя традиционные методы — селекцию продуктивных штаммов, оптимизацию сред, элиситацию, добавление предшественников синтеза, — можно повысить продуктивность культур клеток растений на один–два порядка. С развитием методов молекулярной биологии появились новые способы повышения продуктивности культур, основанные на методах метаболической инженерии. Оверэкспрессия или выключение генов белков, определяющих синтез целевого продукта, могут существенно изменять биосинтетические способности клеток *in vitro*. Однако принципиальным моментом для создания штаммов-продуцентов является специфика культуры клеток растений как биологической системы, у которой нет природных аналогов. Культура клеток высших растений представляет собой экспериментально созданную популяцию соматических клеток, основой развития которой является автоселекция клеток по признаку интенсивной и/или устойчивой пролиферации. Образование БАВ в этой системе происходит в пролиферирующих клетках, что не характерно для интактных растений. Как следствие, состав и содержание биологически активных веществ в клетках *in vitro* существенно отличаются от таковых в интактных растениях. Например, для культуры клеток диоскореи дельтовидной характерно присутствие только фуростаноловых, но не спиростаноловых гликозидов, для культур клеток женьшеня японского показано наличие высоких количеств малонильных эфиров гинзенозидов Rb-группы, в клетках *in vitro* не получен синтез ряда ценных вторичных соединений (димерных индольных алкалоидов, карденолидов и др)

Для случаев, когда культура клеток высших растений оказывается неэффективной для коммерческого использования, может оказаться целесообразным применение культур органов растений или трансформированных корней (*hairy root*), которые во многих случаях сохраняют органоспецифичные синтезы вторичных метаболитов.

В последние годы активно проводятся исследования по получению вторичных метаболитов растений в микроорганизмах — дрожжах и бактериях — трансформированных растительными генами образования вторичных метаболитов. В настоящее время использование этих генно-инженерных методов пока не привело к значительным успехам, но с развитием знаний по биохимии и физиологии вторичного метаболизма (регуляции и компартиментации синтеза, механизмов транспорта и запасания метаболитов) эти подходы могут стать весьма эффективными.

### **ИНТЕНСИВНОСТЬ ФОТОСИНТЕЗА У ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ РАСТЕНИЙ ТАБАКА В УСЛОВИЯХ ИЗБЫТОЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ.**

**Нурминская Ю.В., Максимова Л.А., Копытина Т.В., Еникеев А.Г.**

*Сибирский Институт Физиологии и Биохимии Растений СО РАН, Иркутск, Россия*  
*E-mail: nurminskaya@sifibr.irk.ru*

Ранее установлено, что растения табака, трансформированные разоруженным штаммом *Agrobacterium tumefaciens* 699 (без целевых генов), на протяжении нескольких поколений демонстрировали повышенные показатели роста, имели высокую стабильность развития. Наблюдаемые эффекты связали с состоянием стрессового напряжения у растений вследствие процедуры трансформации, которое привело к ускорению процессов роста и развития. Чтобы выявить роль фотосинтетических процессов в наблюдаемых эффектах, у растений измеряли интенсивность фотосинтеза (ИФ). ИФ измеряли в условиях нормальной и повышенной освещённости, так как предполагалось, что трансформанты могут быть более эффективными продуцентами, чем нормальные растения, в условиях избыточного освещения. Интенсивность фотосинтеза у растений со встроенной конструкцией без целевых генов сравнивалась как с таковой у нормальных, нетрансформированных растений, так и с интенсивностью фотосинтеза у трансформантов со встроенным геном белка теплового шока *hsp101*.

У растений, находившихся в условиях нормальной освещённости, интенсивность фотосинтеза различалась незначительно, однако в целом у всех трансформантов этот показатель был несколько ниже, чем у контрольных растений. Измерение ИФ показало, что у нормальных растений и у трансформантов фотосинтетические процессы усилились, причём наибольшие значения ИФ имели трансгенные растения без целевого гена, а наименьшие — растения с геном *hsp101*. При этом стабильность развития растений, которую оценивали с помощью измерения флукутуирующей асимметрии (ФА) между двумя половинами листьев, в условиях избыточного освещения также отличалась. Наиболее стабильны-

ми были контрольные растения, наименее — растения с генетической конструкцией, несущей ген *hsp101*. В случае трансгенных растений не было обнаружено зависимости между показателем стабильности развития (ФА) и показателем интенсивности фотосинтеза.

Таким образом можно предположить, что, хотя изменения в метаболических процессах у трансформантов позволяют им более эффективно использовать световой ресурс в условиях повышенного освещения, этот эффект может не наблюдаться, если в генетической конструкции присутствует целевой ген.

## ГЕТЕРОЛОГИЧНАЯ СИСТЕМА ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ В РАСТЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ГЕНА БАЦИЛЛЯРНОЙ ФИТАЗЫ

**Нямсүрэн Ч.<sup>1</sup>, Валеева Л.Р.<sup>1</sup>, Ахметова А.И.<sup>1</sup>, Сулейманова А. Д.<sup>1</sup>, Балабан Н.П.<sup>1</sup>,  
Шакиров Е.В.<sup>2</sup>, Шарипова М.Р.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

<sup>2</sup>Department of Biology, Texas A&M University, College Station, TX 77843-3155, USA

E-mail: [chuka\\_ch@mail.ru](mailto:chuka_ch@mail.ru)

Фосфор является одним из ключевых минеральных элементов, необходимых для жизнедеятельности всех организмов. Поскольку недостаток неорганического фосфора в почве сильно ограничивает рост и развитие растений, перспективным направлением развития сельского хозяйства является возможность утилизации органических соединений почвы, обогащенных фосфором, таких как фитат. Большинство растений не обладают способностью секретировать в ризосферу ферменты фитазы, способные расщеплять фитаты до легко усваиваемых остатков фосфорной кислоты и мио-инозитола. В настоящее время существует возможность использования секретируемых в почву фитаз микробного происхождения, но их широкое применение в сельском хозяйстве осложняется необходимостью регулярного внесения таких бактерий в почву, что не выгодно с экономической точки зрения. Таким образом, создание генетически модифицированных растений, несущих гены секретируемых фитаз бактериального происхождения, представляется наиболее перспективным направлением биотехнологии растений.

Целью работы явилось получение и предварительный анализ генетически модифицированных растений *Arabidopsis thaliana*, обладающих геномной вставкой на основе гена фитазы *Bacillus ginsengihumi* (*phyCg*). Нуклеотидная последовательность гена бактериальной *phyCg* была предварительно оптимизирована с помощью программы CodonAdaptationTool (<http://www.jcat.de/>) для повышения уровня экспрессии трансгенной фитазы в *A. thaliana*. Оптимизированный ген бациллярной фитазы был клонирован в бинарный вектор *pCBK05* под контролем промотора *Pht1;2*. Экспрессия промотора *Pht1;2* происходит только в эпителиальных клетках корней *A. thaliana* и индуцируется недостатком неорганического фосфора в ризосфере. Полученная конструкция также содержит последовательности, кодирующие сигнальный пептид белка экстенсина AtExt3, необходимого для секреции фермента

в ризосферу, и 3'-концевые His и Strep последовательности для последующей эффективной детекции и очистки белка. Полученная конструкция была клонирована в вектор pСВК05, используя рестрикционные сайты *PstI* и *SpeI*. Трансформация *A. thaliana* была проведена методом макания цветков в суспензию клеток *Agrobacterium tumefaciens* GV3101. Селекция трансформантов проводилась на среде MS (Murashige-Skoog) с добавлением селективного гербицида BASTA, в результате чего были отобраны трансгенные растения первого поколения. Наличие трансгенной вставки в геноме растений было также подтверждено методом ПЦР с использованием праймеров к гену фитазы и последовательности экстенсина. Таким образом, нами была сконструирована гетерологичная система экспрессии бактериального гена фитазы в растениях, включающая в себя сигнальный пептид экстенсина AtExt3 и ген фитазы *B. ginsengihumi* (*phyCg*) под контролем индуцируемого промотора *Pht1;2*.

Данный проект поддержан грантом ФЦП Соглашение № 14.А18.21.0849.

## **ВЛИЯНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО И ИОННОГО СЕЛЕНА НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ПШЕНИЦЫ**

**Омельченко А.В., Юркова И.Н., Бугара И.А.**

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина  
E-mail: omelav@ukr.net*

В настоящее время в мире возрастает интерес к селену — важнейшему микроэлементу, который наряду с витаминами А, Е и с входит в состав антиоксидантно-антирадикальной системы защиты организма. Основными путями поступления селена в организм являются продукты растительного происхождения, в которых селен содержится в наиболее доступной форме селенметионина. Исследованиями последних лет показана важная роль селена в регуляции жизнедеятельности растений. Однако остается недостаточно изученным влияние различных форм селена и способов обработки на рост и развитие культурных растений. Известно, что в отличие от ионных форм, наноразмерный селен менее токсичен и обладает пролонгированным действием, которое способствует повышению поглощения минеральных веществ, углеводного обмена, фотосинтеза и дыхания клеток.

В связи с этим, целью настоящей работы явилось сравнительное исследование влияния предпосевной обработки семян пшеницы (*Triticum aestivum* L.) растворами наночастиц селена и селенита натрия на ростовые процессы.

Семена пшеницы замачивали в течение 4 часов в водных растворах наночастиц селена, полученных восстановлением селенита натрия цистеином в матрице морских биополимеров, и селенита натрия в концентрации 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 и 5,0 мг/л (по селену). Затем семена проращивали на фильтровальной бумаге в чашках Петри при температуре 24°С в течение 3 суток. После этого проростки пересаживали в сосуды на питательный раствор Кнопа. На 7 сутки определяли накопление сухой биомассы корней и надземной части растений.



Полученные результаты показали, что обработка семян пшеницы различными формами селена увеличивало накопление биомассы как корней, так и надземной части растений по сравнению с контролем при всех исследуемых концентрациях. При этом, более высокое стимулирующее действие селен оказывал на прирост биомассы корней.

Более высокие показатели прироста биомассы растений пшеницы наблюдались при использовании селена в форме наночастиц. Сравнительный анализ результатов влияния наночастиц селена и селенита натрия показал, что наноселен оказывал больший эффект как на биомассу корней, так и надземную часть. Максимальное увеличение массы сухого вещества корней наблюдалось при концентрации наноселена 1,0-3,0 мг/л и составило от 13,0 до 16,1%, а надземной части — от 5,9 до 11,3%.

Таким образом, было показано, что наноразмерный селен является перспективным компонентом при создании новых экологически безопасных биопрепаратов с целью повышения биологической продуктивности растений.

## **ФОТОСИНТЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНОМ СПЕКТРАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ**

**Полякова М.Н., Мартиросян Ю.Ц., Диловарова Т. А., Кособрюхов А.А.**

*ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии, Москва, Россия*

*E-mail: kromashka@gmail.com*

*Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, Россия.*

Интенсивность света и его спектральный состав претерпевают значительные изменения в естественных условиях произрастания растений. В контролируемых условиях световые параметры можно задавать и регулировать в соответствии с планом эксперимента. Повышение эффективности выращивания растений может быть достигнуто путем создания оптимального светового режима облучения. Несмотря на выяснение основных закономерностей действия широкополосного красного или синего света (КС и СС) на фотосинтетический аппарат, метаболические процессы в работах 60-80 годов прошлого столетия, остается много невыясненных вопросов, касающихся механизма влияния узкополосного облучения КС и СС на основные составляющие продукционного процесса, работу фотосинтетического аппарата. Имеющиеся литературные данные по изучению действия светодиодного облучения (СД) на растения касаются анализа работы первичных стадий фотосинтетического аппарата или характеризуют влияние СД на ростовые процессы. В задачу нашей работы входило изучение роста и развития картофеля в течение всего времени вегетации растений при их облучении выпускаемыми светодиодными облучателями а также, исследование работы фотосинтетического аппарата с использованием CO<sub>2</sub> газоанализатора, анализа работы отдельных звеньев реакции карбоксилирования. Исследовали влияние светодиодных облучателей с максимумами в области красного ( $\lambda_{\text{макс}} = 630 \pm 5$  нм,  $660 \pm 5$  нм) и синего ( $\lambda_{\text{макс}} = 450 \pm 5$  нм и  $470 \pm 5$  нм) света на ростовые про-

цессы и активность фотосинтетического аппарата растений картофеля сорта Невский. Делается вывод, что применение светодиодных облучателей в контролируемых условиях фитотрона может быть перспективным приемом при выращивании растений картофеля с учетом изменения спектрального состава в онтогенезе растений.

## **УРОВЕНЬ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА В КУЛЬТУРАХ ТКАНЕЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* РАЗНОГО ВОЗРАСТА**

**Седов К.А., Соловьева А.И., Терешонок Д.В., Долгих Ю.И.**

*Институт физиологии растений РАН, Москва, Россия*  
*E-mail: sedov\_konstantin@bk.ru*

Растения и культивируемые *in vitro* ткани *Arabidopsis thaliana* широко используются для проведения генетических и молекулярно-биологических исследований. Известно, что условия *in vitro* могут индуцировать генетическую изменчивость и растения-регенеранты нередко отличаются от исходных форм. В связи с этим важно оценить уровень генетической изменчивости, возникающей при культивировании изолированных тканей. Целью данной работы было определение уровня генетической изменчивости клеток каллуса *A. thaliana* после шести месяцев культивирования и клеток суспензии, поддерживаемой в условиях *in vitro* на протяжении более шести лет. Каллус получали из прорастающих семян. Суспензионная культура была любезно предоставлена А.В.Носовым (ИФР РАН). Каллус и полученные из суспензии клоны культивировали на среде Мура-сиге-Скуга с 1 мг/л 2,4-Д и 0,15 мг/л БАП. Анализировали полиморфизм фрагментов ДНК, амплифицированных в полимеразной цепной реакции с RAPD и ISSR праймерами. Проведенные исследования показали, что все использованные праймеры и их попарные комбинации обеспечивали синтез фрагментов исследуемых ДНК. Количество амплифицируемых фрагментов в зависимости от праймера(ов) колебалось от 2 до 11, а их размеры варьировали от 200 до 2000 пн. Всего было проанализировано 195 фрагментов ДНК. Ни одна из комбинаций праймеров не выявила отличий шестимесячной каллусной культуры от исходного растения. В ДНК, выделенной из клонов, полученных из суспензии, с четырьмя комбинациями праймеров в спектре ампликонов были обнаружены отличия от каллуса и растений. Доля полиморфных фрагментов составила 1,27%, их размер колебался от 400 до 700 п.н. Отдельные клоны по набору амплифицированных фрагментов не различались между собой. Полученные результаты показывают, что по сравнению с другими видами растений культивируемые *in vitro* клетки *A. thaliana* демонстрируют генетическую стабильность.

**АФК И БЫСТРЫЙ РОСТ НЕМОРФОГЕННЫХ КАЛЛУСОВ: ЕСТЬ ЛИ СВЯЗЬ?****Сибгатуллина Г.В., Хаертдинова Г.В., Румянцева Н.И.***КИББ КазНЦ РАН, г. Казань, Россия**E-mail: kam-guz@yandex.ru*

Ранее нами было установлено, что неморфогенные каллусы (НК), полученные из морфогенных каллусов (МК) гречихи татарской отличаются от родительских каллусов по характеристикам редокс-статуса клеток: в частности содержание  $H_2O_2$  в НК в 1.5—15 раз выше по сравнению с МК. Тем не менее, НК способны активно делиться и наращивать биомассу, а исследование локализации  $H_2O_2$  в клетках НК методом электронной микроскопии не выявило признаков, характерных для развития окислительного стресса. Было предположено, что повышенное содержание АФК в клетках НК может активировать рост культуры, поскольку известно, что АФК участвуют в регуляции многих клеточных процессов, включая пролиферацию. Цель настоящего исследования: поиск связи между содержанием АФК в клетках НК и его ростовой активностью. При изучении изменения внутриклеточной локализации АФК в течение пассажа НК с помощью флуоресцентного красителя дигидрородамина (DHR) было установлено, что в отсутствие процессов деления и растяжения АФК преимущественно локализованы в области клеточных стенок. В фазу активного деления клеток наблюдали появление равномерной АФК-специфичной флуоресценции в области ядер. При вступлении клеток в фазу растяжения, АФК были визуализированы в виде точек в цитоплазме и в области ядер. DHR способен проникать в митохондрии и наблюдаемые нами мелкие частицы соответствуют митохондриям, следовательно, мы наблюдали динамику их локализации и изменение их активности в течение пассажа НК, что, также может быть важным для регуляции клеточного цикла. Таким образом, установлено, что локализация АФК в клетках каллусов изменяется в течение пассажа и коррелирует с фазами культурального цикла. Исследование влияния на деление клеток НК модуляторов эндогенного содержания  $H_2O_2$  — ингибитора каталазы 3-аминотриазола и скэвенджера  $H_2O_2$  диметилтиомочевина — показало, что как снижение, так и увеличение внутриклеточного содержания  $H_2O_2$  вызывают снижение митотического индекса в клетках. Таким образом, установлено, что в неморфогенных каллусах гречихи татарской существует связь между содержанием АФК, их локализацией и ростовой активностью.

Работа поддержана грантом РФФИ № 12-04-31006

**РЕГЕНЕРАЦИЯ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО (*LUPINUS ANGUSTIFOLIUS* L.)  
В КУЛЬТУРЕ ТКАНИ *IN VITRO***

**Фоменко Т.И., Малюш М.К.**

*ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси»,  
Минск, Беларусь  
E-mail: fomenko\_ti@mail.ru*

Люпин узколистный (*Lupinus angustifolius*), возделываемый в Беларуси, является объектом селекционной работы, предполагающей применение как традиционных методов, так и иных биотехнологических приемов, одним из которых является культура ткани *in vitro*. Наличие видовых и сортовых отличий морфогенеза у бобовых в культуре ткани объясняет необходимость разработки метода регенерации видов и сортов люпина.

Исследованы особенности морфогенеза тканей гипокотыля, семядольных узлов и незрелых зародышей сортов люпина узколистного белорусской селекции (Липень, Прывабны, Верас, Митан, Миртан, Першацвет). Показано, что ткань семядольного узла и незрелых зародышей на средах, содержащих БАП в концентрации 2-4 мг/л, проявляет активный стеблевой органогенез без существенных различий по сортам. Менее выраженной морфогенной реакцией обладает ткань гипокотыля, что проявляется как в частоте процесса (наибольшая у сорта Митан 20%), так и в небольшом количестве побегов (1-2 побега). Непрямой морфогенез у люпина узколистного затруднен и получен с невысокой частотой только на ткани незрелых зародышей.

Сорт Митан обладает наиболее выраженным морфогенным потенциалом среди исследованных сортов и отмечен как единственный, у которого получено корнеобразование при пассировании побегов на среду укоренения. Общеизвестный факт уменьшения способности к ризогенезу в процессе культивирования побегов люпина узколистного в культуре *in vitro* подчеркивает практическое значение и актуальность выбора более активных при укоренении сортов.

Регенерация в культуре *in vitro* возможна посредством соматического эмбриогенеза, что актуально для сложно укореняемых видов. Незрелые зародыши являются наиболее отзывчивыми эксплантами для индукции соматического эмбриогенеза. В ряде обзоров обсуждаются роль генотипа, стресса, экзогенных гормонов и условий культивирования эксплантов, однако признается, что биологические основы этого феномена во многом не ясны. По индукции соматического эмбриогенеза люпина исследования единичны. На семядолях незрелых зародышей люпина сорта Митан нами получены на среде МС, содержащей 5 мг/л 2,4-Д; 0,25 мг/л кинетин. соматические эмбриониды, представлявшие собой ярко-зеленые структуры округлой формы размером 1-2 мм. Хотя частота процесса невелика, а условия созревания и получения регенерантов требуют дальнейшей разработки, однако интересен сам факт возможности достижения соматического эмбриогенеза у люпина узколистного, который предоставляет альтернативный путь регенерации в культуре *in vitro*.

## СОХРАНЕНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ В КОЛЛЕКЦИЯХ *IN VITRO* ЦЕНТРАЛЬНОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА НАН БЕЛАРУСИ

**Фоменко Т.И., Спиридович Е.В., Козлова О.Н., Филипена В.Л., Брель Н.Г.,  
Бердичевец Л.Г.**

*ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси»,*

*Минск, Республика Беларусь,*

*E-mail: fomenko\_ti@mail.ru*

Сохранение биоразнообразия растений является одной из актуальнейших задач ботанических садов. Основой этой деятельности является ряд программных документов различного уровня, принятых в последние годы: «Конвенция о биологическом разнообразии» (2006), «Глобальная стратегия сохранения растений» (Global strategy, 2002). Ботанические сады являются центрами по сохранению биоразнообразия растений. Сохранение генофонда в культуре *in vitro* является важным достижением биотехнологии. В 2005 г. Центральный ботанический сад НАН Беларуси получил Свидетельство Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь на коллекцию асептических культур хозяйственно-полезных растений. Коллекция представляет огромный интерес как с практической, так и с научной точки зрения. Образцы из состава коллекции используются в качестве модельных объектов для изучения: 1) морфогенетических и 2) регенерационных процессов, протекающих у эксплантов на стандартных и модифицированных питательных средах, 3) генетической и 4) эпигенетической стабильности/вариабельности регенерантов, 5) получения трансгенных растений с новыми ценными свойствами, 6) факторов, влияющих на эти процессы, а также 7) для обеспечения потребности в посадочном материале этих культур. Постоянно пополняясь, наша коллекция сегодня содержит 180 наименований растений: 45 вида и 135 сортов и гибридов из 15 семейств. При этом более 65% таксонов в его составе относится к фиторесурсным видам. Наиболее полно представлены семейства сем. Ericaceae Juss., сем. Oleaceae Hoffmanns. & Link и сем. Orchideaceae Juss. (включая виды внесенные в Красную Книгу Республики Беларусь). Основное внимание на современном этапе сосредоточено на разработке методов культивирования тканей и клеток растений — продуцентов биологически активных веществ и разработке подходов содержания коллекции *in vitro* клеток лекарственных растений. Так же большое внимание уделяется вопросам получения асептических культур редких и исчезающих видов природной флоры Беларуси с целью их дальнейшей реинтродукции. В течение 2011-2012 годов в состав коллекции включены лекарственные растения: лофант морщинистый (*Agastache rugosa*), кадило сарматское (*Melitis sarmatica*), наперстянки (*Digitalis purpurea*, *D. lanata*, *D. grandiflora*), рута душистая (*Ruta graveolens* L.), шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis* Georgi), синюха голубая (*Polemonium coeruleum* L.), шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.), воробейник лекарственный (*Lithospermum officinale* L.), стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni), зверобой кустарниковый (*Hypericum Hidcote*), полынь беловойлочная (*Artemisia hololeuca*), расторопша пятнистая (*Silybum marianum*); виды и сорта сирени (*Syringa* L.), рододендрона (*Rhododendron* L.), голубики (*Vaccinium corymbosum* L.), пальчатокоренника (*Dactylorhiza* Neck.).

## ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ГЛУТАТИОНА В КУЛЬТУРАХ ГРЕЧИХИ С РАЗНОЙ МОРФОГЕННОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Хаертдинова Л.Р., Румянцева Н.И.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский институт  
биохимии и биофизики Казанского научного центра Российской академии наук,*

*Казань, Россия*

*E-mail: nigmatullinalili@mail.ru*

Трипептид глутатион ( $\gamma$ - глутамил-цистеинил-глицин) является основным редокс-буфером в клетках животных, присутствуя в двух формах — восстановленной (GSH) и окисленной (GSSG). Снижение соотношения GSH/GSSG свидетельствует о развитии окислительного стресса. Функции глутатиона в клетках растений так же важны и многообразны, как и в клетках животных: глутатион напрямую участвует в защите клеток от окислительного стресса, выполняет функцию субстрата для работы антиоксидантных ферментов, участвует в процессах посттрансляционных модификаций белков, регуляции клеточного цикла и морфогенеза. Высокое внутриклеточное содержание GSH характерно для делящихся клеток и меристем, в стареющих клетках содержание GSH снижается, а GSSG увеличивается. Морфогенные каллусы (МК) гречихи татарской сохраняют генетическую стабильность и способность к морфогенезу в течение длительного времени культивирования (до 10 лет), в то время как полученные из них неморфогенные каллусы (НК) характеризуются полиплоидией и анеуплоидией, быстрым ростом, отсутствием способности к дифференцировке. Одним из внутренних факторов, позволяющих клеткам морфогенных культур поддерживать гомеостаз при действии стрессоров, может быть глутатион. Целью данного исследования было изучить содержание глутатиона в культурах с разной способностью к морфогенезу.

В целом, содержание общего глутатиона в клетках МК и НК отличалось незначительно и варьировало в течение пассажа в пределах 400-600 мкМ/г сухого веса. Основные различия касались соотношения GSH/GSSG в клетках: в НК оно варьировало от 2,8 до 0,48 (к концу пассажа), а в МК поддерживалось в течение всего пассажа на достаточно высоком уровне (от 1,5 до 7). Важно отметить, что в разных линиях МК цикл образования проэмбриональных клеточных комплексов характеризовался одинаковой динамикой изменения содержания GSH.

Таким образом, несмотря на то, что общее содержание глутатиона в клетках каллусов с различной способностью к морфогенезу было практически одинаковым, соотношение GSH/GSSG в них отличалось значительно. По-видимому, для поддержания морфогенной способности, связанной с процессами дифференциации/дифференциации культурам крайне важно поддерживать высокое соотношение GSH/GSSG.

**ИЗМЕНЕНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В ТЕЧЕНИЕ КУЛЬТУРАЛЬНОГО ЦИКЛА В МОРФОГЕННЫХ КАЛЛУСАХ ГРЕЧИХИ ТАТАРСКОЙ**

**Хаертдинова Л.Р., Румянцева Н.И., Сибгатуллина Г.В.**

*Федеральное государственное учреждение науки Казанский институт биохимии и биофизики Казанского научного центра Российской академии наук, Казань, Россия*

*E-mail: nigmatullinalili@mail.ru*

Морфогенные каллусы (МК) гречихи татарской являются уникальной системой, в которой в течение длительного времени культивирования (7 лет) наблюдаются воспроизводящиеся циклы образования проэмбриональных клеточных комплексов (ПЭКК) и их разрушения, таким образом, МК гречихи татарской представляет собой сложную систему, состоящую из ПЭКК и мягкого каллуса, образующегося при разрушении ПЭКК. Известно, что АФК могут участвовать в процессах разрушения и ограничения роста клеточных стенок, а также регулировать пролиферацию клеток. Цель данного исследования — выявить корреляцию в изменении содержания АФК и стадиями роста МК. В МК было отмечено 3 пика митотической активности, тогда как кривая динамики содержания  $H_2O_2$  не характеризовалась резкими изменениями значений. С помощью флуоресцентного красителя дигидрородамина 123 (DHR123) в клетках МК было выявлено, что АФК локализируются в области клеточной стенки и дисперсно в цитоплазме. Необходимо отметить, что мы не наблюдали флуоресценции АФК в области ядер. В течение пассажа в МК происходит смена локализации АФК между двумя популяциями клеток: клетками ПЭКК и клетками мягкого каллуса. На 4, 11, 19 сутки, когда в МК происходит активное деление клеток, АФК при окрашивании DHR123 визуализировались в основном в клетках ПЭКК. При этом АФК выявлялись дисперсно в цитоплазме клеток. Флуоресценция в клетках мягкого каллуса была очень слабой и наблюдалась в области клеточных стенок. После снижения митотической активности флуоресценция в клетках мягкого каллуса усиливалась и наблюдалась не только в клеточных стенках, но и дисперсно в цитоплазме. В клетках ПЭКК в этот период отмечали локализацию АФК в основном в области клеточных стенок. К концу культурального цикла локализация АФК была обнаружена в основном в клетках мягкого каллуса, при этом интенсивность флуоресценции в клетках ПЭКК была значительно ниже. Нами было установлено, что при отсутствии значимых пиков содержания  $H_2O_2$ , в МК происходят значительные изменения в локализации АФК, выражающиеся в их перераспределении между клетками ПЭКК и клетками мягкого каллуса. Полученные нами результаты указывают на вовлеченность АФК в процессы разрушения и образования ПЭКК.

Работа поддержана грантом РФФИ № 12-04-31006



**ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ БЕЛКОВЫХ ИНГИБИТОРОВ (ТРИПСИНА, ХИМОТРИПСИНА, ТРИПСИН ПОДОБНЫХ ПРОТЕАЗ) ИЗ ПАТОГЕНА FUZARIUM OXYSPORUM SCHLECHTEND В СТАРЕЮЩИХ СЕМЕНАХ НУТА ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ В КОЛЛЕКЦИИ EX SITU В УСЛОВИЯХ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР**

**Чебан А.Н., Тома З.Г., Куршунжи Д.К., Михэилэ В.В.**

*Институт генетики и физиологии растений АН, г. Кишинёв, Молдова*

*E-mail: cebanan@rambler.ru*

Важнейшие составляющие механизмов защиты у растений — это ферменты (Д-1,3-глюканазы, хитиназы), ингибиторы протеаз и  $\alpha$ -амилаз, лектины и другие пептиды [Бенкен и соавт., 1976; Ryan, 1990; Peumans, Damme, 1995; Fritig et. al., 1998; Garcia Olmedo F. et. al., 1998 Chen et. al., 1999]. В данном сообщении мы приводим данные по изменению анти-протеолитической активности белковых ингибиторов (выделенных из муки семян), полученные для трёх местных форм нута (MDI 02403, MDI 02418, MDI 02420) после хранения семян в течение 5 лет в коллекциях ex situ в условиях пониженных температур (6°C). В год репродукции семян, ингибиторная активность в них по отношению к ферменту трипсину составляла 100% у формы MDI 02403, 93,8% у MDI 02418 и 54,9% у MDI 02420; по отношению к химотрипсину 80,6% у MDI 02403, 41,2% у MDI 02418 и 56,1% у MDI 02420. В семенах всех трёх форм нута присутствовала 100% анти-протеолитическая активность к протеазам, выделенным из различных штаммов *F. oxysporum* Sch. растений нута. Анти-протеолитическая активность относительно протеаз, выделенных из штаммов *F. oxysporum* Sch. растений сои равнялась 53,7% у MDI 02403; 47,5% у MDI 02418 и 78,6% у MDI 02420. В течение 5 лет анти-триптическая активность снизилась до 74,9% у MDI 02403, до 76,7% у MDI 02418 и до 48,7% у MDI 02420; анти-химотриптическая активность составила всего 34,8% у формы MDI 02403, 26,5% у MDI 02418 и резко упала до 10,6% у MDI 02420. Только у формы MDI 02403, по отношению к протеазам, выделенным из различных штаммов *F. oxysporum* Sch. растений нута, анти-протеолитическая активность сохранилась на уровне года репродукции семян (100%). Анти-протеолитическая активность снизилась до 78,1% у формы MDI 02416, а у формы MDI 02420 до 48,8%. Анти-протеолитическая активность относительно протеаз, выделенных из штаммов *F. oxysporum* Sch. растений сои равнялась 33,7% у MDI 02403; 20,1% у MDI 02418 и 33,2% у MDI 02420. Итак, у изученных генотипов при старении семян резко падает величина ингибиторной активности ингибиторов белковой природы, содержащихся в семенах, что приводит, по-видимому, к разрушению белок-белковых (ингибитор-ферментных) комплексов и высвобождению протеаз, катализирующих расщепление структурных белков в семени. Сохранение семян при пониженных температурах -6°C замедляет метаболические процессы распада белок-белковых комплексов и потерю активности белковых ингибиторов, но не останавливает процесс старения семян связанный с процессами развала макромолекул клеток.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА АГРОБАКТЕРИАЛЬНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ВИДОВ РОДА VACCINIUM

**Чижик О.В., Филипеня В.Л., Решетников В.Н.**

*ГНУ «Центральный Ботанический Сад НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: alisa67@hotmail.ru*

Генно-инженерные методы позволяют создавать новые формы растений гораздо быстрее, чем классические методы селекции. Однако большинство плодово-ягодных культур являются сложными объектами для модификации. Изучение факторов, которые оказывают влияние на перенос, встраивание и дальнейшую экспрессию чужеродных генов, является основой для оптимизации условий трансформации.

Оптимизацию условий инфицирования эксплантов брусники обыкновенной, голубики высокорослой и клюквы крупноплодной проводили на основе анализа транзientной экспрессии репортерного гена GUS. В работе использовали супервирулентный штамм *Agrobacterium tumefaciens* CBE21, содержащего бинарный вектор pBI121 с геном  $\beta$ -глюкуронидазы. Изучено влияние времени кокультивирования, индукторов vir-генов (ацетосирингона, мокосахаров и антиоксидантов) и селективного антибиотика канамицина на эффективность транзientной экспрессии GUS.

Максимальную частоту транзientной экспрессии GUS для брусники наблюдали на 6 день кокультивирования с агробактерией. Она составила 13,6% и 47,4% для сортов Red Pearl и Koralle, соответственно. В эксплантах голубики сорта Concord максимальный уровень транзientной экспрессии (60%) наблюдали после 5 дней кокультивирования, для сорта Atlantic — на 6 день (30%), в эксплантах клюквы — после 6 дней (57%).

Добавление ацетосирингона в среду для инокуляции повысило уровень транзientной экспрессии GUS в листовых эксплантах брусники обыкновенной сорта Red Pearl до 21,3%, сорта Koralle до 49,2%. Использование ацетосирингона не только при инокуляции, но и при кокультивировании позволило добиться 45,6% частоты трансформации для сорта Red Pearl и 70,3% для сорта Koralle. Уровень транзientной экспрессии GUS после 6 дней кокультивирования эксплантов клюквы на среде, содержащей ацетосирингон, составил 68%. Использование ацетосирингона на этапе кокультивирования эксплантов голубики высокой с агробактерией оказалось не эффективным.

Добавление моносахаров и антиоксидантов в среду для кокультивирования повышало частоту транзientной экспрессии GUS.

Анализ полученных данных позволил предложить эффективные методики генетической трансформации для брусники обыкновенной, голубики высокорослой и клюквы крупноплодной.

## ЭФИРНЫЕ МАСЛА ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**Шутова А.Г., Гаранович И.М.**

*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*E-mail: anna\_shutova@mail.ru*

Поиск новых эффективных экологически безопасных фитопрепаратов является важной научной задачей, актуальность которой возрастает в настоящее время в связи с неблагоприятной экологической обстановкой, а применение для этих целей представителей местных или успешно интродуцированных видов растений является перспективным, в том числе, с точки зрения замещения дорогостоящей импортной продукции.

Известна биологическая активность эфирных масел, обусловленная их составом и строением, высокой летучестью и малыми размерами молекул. Эфирные масла в природном диапазоне концентраций обладают бактериостатическим и бактерицидным действием, активизируют работу основных функциональных систем человеческого организма, стимулируют обменные процессы, снижают утомляемость, оказывают адаптогенное действие при неблагоприятных факторах среды и в условиях экстремальных нагрузок.

Предложены композиции для ароматизации, включающие эфирные масла растений в специально определенных соотношениях, обеспечивающих улучшенные органолептические характеристики композиций, что усиливает их положительный эффект при восприятии человеком. Преимуществом разработанных композиций является то, что при их создании использованы эфирные масла растений, успешно интродуцированных в условиях центральной агроклиматической зоны Беларуси, что позволяет решить проблему импортзамещения. В состав разработанных композиций в обязательном порядке включалось эфирное масло хвойного растения, как наиболее благоприятно действующего на респираторную систему человека, и эфирные масла растений, для которых был показан значительный антиоксидантный эффект. Для отбора использованных в композициях эфирных масел изучен выход, особенности компонентного состава, антиоксидантная, антирадикальная и антимикробная активность эфирных масел родов *Pinus* (13 таксонов/ *Abies* (4), *Juniperus* (10). Оценено влияние различных факторов (время заготовки, состояние растительного сырья на накопление и состав эфирного масла. Предложен способ пролонгирования активности эфирных масел путем капсулирования в микрочастицы на основе альгиновой кислоты.

**КОМПЛЕКСНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ К ХОЛОДУ И ВОЗБУДИТЕЛЯМ АЛЬТЕРНАРИОЗА И ФИТОФТОРОЗА ТРАНСГЕННЫХ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ, ЭКСПРЕССИРУЮЩИХ ГЕН АЦИЛ-ЛИПИДНОЙ ДЕСАТУРАЗЫ  $\Delta 9$  ИЗ ЦИАНОБАКТЕРИИ *SYNECHOCOCCUS VULCANUS*.**

**Юрьева Н.О.<sup>1</sup>, Мелешин А.А.<sup>2</sup>, Шелухин П.Г.<sup>2</sup>, Деревягина М.К.<sup>2</sup>, Собољкова Г.И.<sup>1</sup>, Васильева С.В.<sup>2</sup>, Голденкова-Павлова И.В.<sup>1</sup>, Шимшилашвили Х.Р.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Институт Физиологии Растений РАН, им. К.А.Тимирязева; Москва, ул. Ботаническая 35  
E-mail: yuorieva@mail.ru

<sup>2</sup>Всероссийский институт картофельного хозяйства им. А.Г.Лорха, Московская область, Люберецкий р-н, Коренево, ул. Лора 23

Экспериментально доказано, что первым защитным барьером на пути любого стрессового фактора, как абиотического, так и биотического, является клеточная мембрана. Результаты работ многих авторов показали, что ответная реакция на воздействие большинства стрессовых факторов связана с изменением уровня свободных ненасыщенных жирных кислот в клеточных мембранах ( Wang X., Li W., Li M., 2006; Xing J.S., Chin C-K., 2000). Как известно, десатураза является цитоплазматическим энзимом, который катализирует образование двойных (C=C) связей в определенных положениях в цепях жирных кислот и играет ключевую роль в сложных сигналинговых реакциях в ответ на воздействие различных стрессовых факторов, в том числе воздействие низких отрицательных температур и атак фитопатогенов.

Нами были получены трансгенные растения картофеля, экспрессирующие ген ацил-липидной десатуразы  $\Delta 9$  из цианобактерии *Synechococcus vulcanus*, для сортов картофеля Скороплодный и Юбилей Жукова. После экспонирования в морозильной камере при  $-6^{\circ}\text{C}$  в течение 1-го часа, 5 трансгенов с. Скороплодный из 7 (71,4%) практически не имели симптомов поражения надземной части. из 5 изученных трансгенов с. Юбилей Жукова, 3 (60%) также продемонстрировали повышенную устойчивость к холоду. Выделившиеся по холодостойкости линии трансгенов были искусственно заражены зооспорами *Phytophthora infestans* и *Alternaria solani*. Индекс поражения листьев альтернариозом у всех трансгенов с. Скороплодный была в 2–14 раз ниже, чем у исходного сорта. Показатель устойчивости к фитофторозу был на 1–1,4 балла выше у 3-х линий. Все трансгены с. Юбилей Жукова, выделившиеся по холодостойкости, продемонстрировали повышенную устойчивость к фитофторозу, а у 2-х линий показатели поражения листьев альтернариозом были на 34,05 и 36,22% ниже, чем у исходного сорта. Таким образом, 3 трансгенных линии с. Скороплодный и 2 линии с. Юбилей Жукова сочетали устойчивость к холоду с повышенной устойчивостью к обоим фитопатогенам. Результаты данного эксперимента наглядно показали, насколько важную роль играют десатуразы в механизме противостояния стрессовым факторам разной природы, а также возможность создания форм картофеля с повышенной способностью противостоять комплексу неблагоприятных условий.

**СЕКЦИЯ 7**

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ  
И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ**

**INFLUENCE OF  $\text{KNO}_3$  ON ACTIVITY AND GENE EXPRESSION OF NITRATE REDUCTASE, CONTENT OF PROLINE AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS, PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION IN BARLEY PLANTS UNDER SALINITY****Beyzaei Z., Sherbakov R.A., Vershilovskaya I.V., Obuchovskaya L.V., Averina N.G.**

*Institute of Biophysics and Cell Engineering of National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus,  
E-mail: z.beyzaei@gmail.com*

Soil salinity is an increasing threat for agriculture and a major factor in reducing plant development and productivity. Nitrate reductase (NR)—a key enzyme of inorganic nitrogen assimilation is a target for many abiotic stressors including salt stress. We have studied influence of substrate activation of NR with 20 mM  $\text{KNO}_3$  on some characteristics of barley plants grown for 7-8-days on water or 150 mM NaCl solution.  $\text{KNO}_3$  efficiently induced expression of NR gene as well as increased enzyme activity. In presence of 20 mM  $\text{KNO}_3$  activity of NR increased 7 times as compared to the control. In such leaves capacity to generate superoxide radical anion remained on the level of the control plants meaning that 20 mM  $\text{KNO}_3$  was not stress for plants. Increase of 5-aminilevulinic acid (ALA) accumulation (2,2–2,4 times) and decrease of proline (PRO) content in average 2 times supports the idea that in normal condition ALA compete with PRO for common precursor—glutamic acid, the main product of NR functioning. Decrease activity of the key enzyme of PRO biosynthesis—the pyrroline-5-carboxylate synthase (in the average by 40%), is indicative of its participation in distribution of glutamic acid between ALA and PRO biosynthetic systems. NaCl did not induced expression of NR gene, insignificantly (by 10%) inhibited total NR activity, decreased content of protein (by 32%) and plant growth. In such plants rate of ALA biosynthesis and content of its products such as chlorophyll *a*, *b*, and heme, as well as carotenoids and PRO increased with parallel activation of photosynthesis rate (evolving of  $\text{O}_2$ ,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{c}$ , 116%) and rate of dark respiration (107%) as compared to these characteristics in the control plants. We supposed that supporting of the main energetic processes—photosynthesis and respiration is one of the primary mechanisms of plant adaptation to the salt stress. Plants grown on NaCl+ $\text{KNO}_3$  solution had wider and unfolded leaf blades and were higher than plants grown under the salt alone. Addition of 20 mM  $\text{KNO}_3$  to 150 mM NaCl induced expression of NR gene in the plants, increased enzyme activity 4 times and promoted plant tolerance by increasing content of PRO (2,7-fold) and proteins (1,4-fold) and decreasing capacity to generate the superoxide radical anion as compared to the “NaCl”-variant. Only tendency to increase rate of ALA accumulation (by 12%), chlorophylls and carotenoids amounts (in the average by 6%) compared to the salt variant has been detected.

**CATALASE AND PEROXIDASE ACTIVITY OF SOIL AND *CAREX HIRTA* L. PLANTS UNDER CRUDE OIL CONTAMINATION****Karpyn O., Bunyo L., Tsvilynyuk O., Terek O.***Ivan Franko National University of Lviv, 79005, Lviv, 4 Hrushevsky str., Ukraine**E-mail: olgakarpyn@gmail.com*

Crude oil, when present in the soil, creates an unsatisfactory condition for life, which is due to the poor aeration and hydrophobization, immobilization of soil nutrients, and changing of soil pH. Soil enzymes play an important role in organic matter decomposition and nutrient cycling. Enzymes respond to soil management changes long before other soil quality indicator changes are detectable. Both catalase and peroxidase activity are sensitive to soil pollution, their values have been suggested to be used as a simple toxicity test.

The analysis of antioxidant enzymes activity in crude oil treated soil following remediation with sedge (*Carex hirta* L.) plants were studied. The aim of this research was to analyse the enzymatic activity of catalase and peroxidase in the rhizosphere of *C. hirta* plants in soil contaminated with crude oil (5%). There was a significant decrease in catalase activity in contrast to increase observed in peroxidase activity in sedge rhizosphere of oil polluted soil.

Catalase activity in soil was rather low — 1,2–2,9 ml O<sub>2</sub> \* min<sup>-1</sup> \* g<sup>-1</sup>. Enzyme activity in *C. hirta* rhizosphere in oil polluted soil decreased 35% relative to the control. Catalase activity reduced on addition of crude oil to the soil, due to the unfavourable anoxic conditions created by the crude oil and also, destruction by toxic substances, contained in the oil. Peroxidase activity in the root zone of *C. hirta* plants in oil contaminated soil increased approximately 2-fold (from 0,69 ml of guaiacol in control to 1,37 ml under oil contamination), it also increased in non rhizosphere zone of soil. High concentration of phenolic compounds in oil which can be substrates for peroxidase may activate enzyme.

As plant roots can be source of soil enzymatic activity we also determined catalase and peroxidase activity in sedge plants. Activity of both antioxidant enzymes in *C. hirta* organs under oil contamination remained on a control level. Results of our previous investigations showed that under 5% of crude oil in soil concentration of hydrogen peroxide and TBA-active products also remained on control level or even decreased in sedge plants. Oil pollution of soil did not activate pro/antioxidant reactions in *C. hirta* plants. Thus, peroxidase and catalase activity changes in oil polluted soil could hardly be caused by enzymes activity in *C. hirta* plants.



**RELATIONSHIPS BETWEEN THE FOLIAR CARBON ISOTOPE COMPOSITIONS  $\delta^{13}\text{C}$  OF  
*BETULA PENDULA* ROTH AND *B. PUBESCENS* EHRH.  
AND THE CLIMATE OF THE URALS AND WEST SIBERIA**

**Migalina S.V., Ivanova L.A., Ronzhina D.A., Ivanov L.A., Machnev A.K., Rennenberg H.<sup>1</sup>**

*Institute: Botanic Garden UB RAS, Ekaterinburg, Russia*

*<sup>1</sup>Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie, Professur für Baumphysiologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Germany*

*E-mail: Fterry@mail.ru*

Known effects of light, temperature, water availability and others environmental factors, on carbon isotope  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio of plant tissues allow to use stable isotope analysis for study the physiological mechanisms of adaptation of plant species to climate. We studied carbon isotope composition in leaves of birches *Betula pendula* and *B. pubescens* along a 1600 km latitudinal transect in the Urals and Western Siberia. Sampling was performed in 7 geographical points in different vegetation zones from forest-steppe to forest-tundra.  $\delta^{13}\text{C}$  values decreased in leaves of both birch species along transect to northern direction from -26–27 to -30‰. Two birch species differed in the degree of carbon discrimination alterations along climatic gradient. *B. pendula* had more visible changes in values of  $\delta^{13}\text{C}$  and demonstrated the strong correlation of  $\delta^{13}\text{C}$  with climate parameters as humidity coefficient and annual air temperature. The results of ANOVA analysis showed significant differences in carbon discrimination values between seasons in *B. pendula*—during most dry and warm year the values of  $^{13}\delta\text{C}$  were higher. Alterations in foliar isotope composition of *B. pubescens* was observed in a smaller degree and showed no significant relations with climate and seasonal parameters. Obtained results are attributed to a reduce of stomatal limitation of carbon gain from southern to the northern part of transect. Other hand the correlations between  $\delta^{13}\text{C}$  and mesophyll structural parameters were observed. Both species had positive correlation between  $\delta^{13}\text{C}$  and relative chloroplasts volume in cell. *B. pendula* had strong negative correlations  $\delta^{13}\text{C}$  with palisade cell volume and chloroplast number per cell due to linear enhancing of mesophyll cell sizes in birch species from south to the north. There was also negative relation of carbon isotope discrimination with ratio of total surface area of mesophyll cells to leaf surface area ( $A_{\text{mes}}/A$ ). The differences between birches in variability of  $\delta^{13}\text{C}$  values are linked to ecological peculiarities of these species. *B. pubescens* grows in more wet conditions than *B. pendula* therefore water balance of this species is less dependent on stomatal control. Obtained relations between mesophyll structure and  $\delta^{13}\text{C}$  show that not only stomatal limitation but also mesophyll diffusion conductance can influence the carbon isotope composition in birches leaves under climatic adaptation.

**COMBINED EFFECT OF WATER AND SALT STRESSES ON THE STRUCTURE  
OF MESOPHYLL CELLS IN WHEAT SEEDLINGS****Semenova G.A.<sup>1</sup>, Fomina I.R.<sup>2,3</sup>, Ivanov A.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences,  
Pushchino, Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia*

<sup>3</sup>*Biosphere Systems International Foundation, Tucson, Arizona, USA*

*E-mail: demfarm@mail.ru*

The purpose of the work was to assess the combined effect of drought and salinity (50, 100, 200 mM NaCl) on the meso- and ultrastructure of mesophyll cells of wheat seedlings. Stress development was estimated by a decrease in the relative water content (RWC) and CO<sub>2</sub>-dependent O<sub>2</sub> evolution (A<sub>n</sub>) in leaves. The decrease in the RWC and A<sub>n</sub> occurred rapidly in the absence of salt in the substrate and slower in the presence of salt, especially at a treatment of 100 mM NaCl. The resumption of watering led to the recovery of the both parameters in all variants except one with 200 mM NaCl. Structural studies showed that a weak drought stress (RWC 60%) without salinity led to the destruction of cell membranes and hyaloplasm, which did not occur in all salt treatments. By contrast, the ultrastructure of nuclei in weak drought without salinity remained unchanged, whereas in all salt treatments chromatin changed substantially. Heterochromatin underwent a strong condensation followed by the fusion into a united massive with the simultaneous loss of electron density. A strong water stress (RWC 40%) in all variants led to cell destruction and the hydrolysis of cell compounds. Under the drought without salinity, vacuoles disappeared, whereas in salt-treated samples they were retained and filled with organelles being at different degrees of degradation. Cell nuclei under strong drought stress lost their rounded shape, nuclear envelopes were destroyed, and at the end only a finely dispersed substance remained. Thus, under the combined action of drought and salt, there is some critical level of salt concentration in substrate above which the ameliorative effect of NaCl changes to the adverse, which enhances the action of drought. Among structural components of mesophyll cells, the most sensitive to NaCl are nuclei and their chromatin.

**ACCUMULATION OF HEAVY METALS AND MOSS  
*DREPANOCCLADUS ADUNCUS* (HEDW.) WARNST. REACTIONS ON THEIR TOXIC EFFECTS**

**Shcherbachenko O.I.**

*Institute of Ecology of the Carpathians National Academy of Sciences of Ukraine,*

*Lviv, Ukraine*

*E-mail: scherbachenko@ukr.net*

High accumulative *D. aduncus* ability has been found out for the first time: in leaf-stem shoots heavy metals have been accumulated in the moss leaf cells of the nerve, top and base mainly intracellularly and only a part of ions has been immobilized in the cellular walls. The dependence of tolerance index moss on heavy metals concentration and growing conditions (sandy and water cultures) has been revealed. Essential changes of tolerance index at moss replantation on the environment with lower or higher concentrations of metal ions have been shown at the same time. Adaptation and moss stability to the influence of moderately toxic cations concentrations (0,1–10,0  $\mu\text{M}$ ) has been proved. The decrease of chlorophylls *a/b* correlation as the result of stronger content decrease of chlorophyll *a* has been established. Under such conditions carotenoid content has increased. The state of pro/antioxidative plants system under the conditions of heavy metals influence has been investigated. It has been shown that under the influence of  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  ions in *D. aduncus*, generation of hydrogen peroxide has taken place that caused the increase of catalase and peroxidase activity. It has been established, that under the action of heavy metals ions the content of TBA-active products in the cells of moss correlates with hydrogen peroxide concentration—increases comparatively to control. Under the conditions of replantation of moss cultures on lower concentrations of  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$  in the moss cells pro/antioxidative balance between the intensity of TBA-active products and the activity of SOD in established.

On the basis of the analysis results of metal stability *D. aduncus* from various growth localities of Lviv (Ukraine) as to the level of pollution it has been shown for the first time, that the plants from strongly polluted ecotopes is more stable to further influence of heavy metals than in weakly polluted growth localities, that testifies to the testifies to the significant adaptive moss potential under the conditions of technogenically changed environment. Moss ability to accumulate increased concentrations of techogenically toxic metals depending on the pollution level of overmoistened ecotopes has been established for the first time. The results of carried out investigations testify to high plasticity of *D. aduncus* under the conditions of heavy metals influence, that allows to recommend the present species for bryoindication and phytoremediation of polluted territories.

**INFLUENCE OF THE MOSS *CAMPYLOPUS INTROFLEXUS* (HEDW.) BRID. ON THE OPTIMIZATION OF MINE DUMPS' TECHNOGENIC SUBSTRATES****Sokhan'chak R.R.***Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine**E-mail: stentor62@gmail.com*

Mine dumps are the main sources of water, soil and air pollution in coal extraction areas. Mosses are the first of higher plants which populate the substrate of technological disturbed lands. It is known, that even insignificant biomass of them has the beneficial influence on formation and structure of the plant communities. The role of moss cover in the primary soil formation on technological substrates is insufficiently studied, so the aim of work was determination the content of major and minor nutrients, organic Carbon and acidity of mine "Nadiya" dump substrate (Lviv region, Ukraine).

Disturbance of the hydrochemical regulation of surface and underground water, increase in sulphate concentration and mineralization of the mine dump substrates causes changes in geochemical processes in tailings, acidity of substrate surface and toxic metals accumulation. According to the results of atomic-absorption analysis content of the main major and minor nutrients and their distribution between substrate and *C. introflexus* phytomass were determined. It was shown, that in the substrate under moss cover gross content of studied elements (K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cd, Pb, Cu) did not exceed immission limit, except cadmium (8-fold excess). Obtained results indicate that major and minor nutrients, excepting potassium, are accumulated in brown died part of the moss, which is the primary barrier between substrate and alive part of its gametophyte. Acidity rates of the substrate, both covered with *C. introflexus* and uncovered, changed in the range 5.3–6.1, moreover, under moss turfs pH rates were higher than without it. Reliable increase in organic Carbon content under plant cover compared to uncovered substrate indicates the formation of organic-accumulative layer in dump substrate from the products of moss turf decay. Under favorable conditions of the dump for growth and development of the *C. introflexus* (moisture, light and substrate stability) moss turfs form powerful alive part and considerable bedding layer, what has significant impact on the course of primary soil-forming processes.

Detected regularities of the major and minor nutrients distribution in *C. introflexus* biomass, acidity changes and formation of the organic-accumulative layer in substrate influenced by moss turfs indicate that this alien moss, colonizing mine dumps, improves their edaphotopic properties, facilitates renaturalization of the devastated areas and future development of vascular plants.

**STUDY OF THE DEVELOPMENT AND CONDITION OF SCOTS PINE EXPOSED TO SULPHUR AND HEAVY METAL POLLUTION IN THE KOSTOMUKSHA URBAN ECOSYSTEM, NORTH RUSSIA**

**Terebova E., Galibina N.**

*Petrozavodsk State University, Chair of Botany and Physiology of Plants, Petrozavodsk, Russia*

*Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, Russia*

*E-mail: eterebova@gmail.com*

A distinctive feature of towns and cities in the North of Russia is that they are surrounded by forest, and that large fragments of natural forest reach into the city and are exposed to intensive industrial pollution. A source of pollution in Northwest Karelia since 1982 has been the Kostomuksha mining and concentrating mill (GOK), with the pollution (polymetallic dust, sulphur dioxide) estimated as chronic and weak. Biomonitoring now widely employs the fluctuating asymmetry (FA) method. FA is one of the indicators of change in the stability of plant development. In 2010, we detected a loss of developmental stability (FA index increased) in Scots pine in the mill impact zone. FA also proved to be a sensitive indicator of change in the functional state of the plants, considering the high correlations we found between the FA index and the content of photosynthetic pigments and metabolites in the needles of pollution-exposed pine trees. Initially, modifications in the development of the trees are due to the response of photosynthetic pigments to the pollution (reduction in chlorophyll “A” and “B” content). Variations in the pigment system interfere with photophosphorylation (reduction in nucleotides) in the needles, and slow down the synthesis of photoassimilates (reduction in phosphorylated sugar content). Further disturbances in the development of pollution-exposed pine trees correlate with the accumulation of major metabolites in the needles (NPK). This functional metabolic response may have several causes: assimilate flux towards sink zones is impeded by photosynthesis malfunction; homeostasis of the main chemical elements is maintained owing to a rise in the content of the main metabolites; storage of high-energy compounds to repair the damage. The high metabolic status of the needles is not however related to the effect of stimulation by pollutants of anabolic processes in needles we observed in 1988–1992 (pine productivity did not increase). The metal resistance properties of the needles cell walls also suffer in the pollution-exposed trees: swelling progresses and the number of carboxyl groups in the structure decreases. Thus, chronic sulphur and heavy metal pollution of the Kostomuksha urban ecosystem undermines the stability of Scots pine development through malfunction of cell waters and photosynthesis in needles.

**РОЛЬ 5-АМИНОЛЕВУЛИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ОЗИМОГО РАПСА (*BRASSICA NAPUS*) К ГЕРБИЦИДУ МАГНУМ****Аверина Н.Г., Недведь Е.Л., Щербаков Р.А., Яронская Е.Б.***ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь**E-mail: averina@ibp.org.by*

В современном сельскохозяйственном производстве гербициды играют огромную роль. Сульфонилмочевинные гербициды (СМГ) интенсивно используются для прополки посевов практически всех основных культур. Под действием СМГ прекращается деление клеток чувствительных к ним видов сорных растений, в результате чего они останавливаются в росте. В ряде публикаций отмечено, подавление под действием СМГ активности ацетолактатсинтетазы (АЛС), участвующей в синтезе незаменимых аминокислот с разветвленной углеводородной цепью, хотя рассматриваются и другие механизмы действия СМГ. Высокая персистентность СМГ оказывает отрицательное воздействие на ряд культур, выращиваемых в севообороте, что поднимает вопрос о разработке способов снижения отрицательного последствия этих гербицидов. Ранее нами было показано, что применение 5-аминолевулиновой кислоты (АЛК) как регулятора роста растений снижает стрессовый эффект СМГ Магнум на растения озимого рапса, путем увеличения активности антиоксидантных ферментов — аскорбатпроксидазы и глутатионредуктазы, а также возрастания содержания восстановленного глутатиона. Целью настоящей работы стало исследование влияния АЛК на содержание активных форм кислорода — супероксид анион-радикала ( $O_2^{\cdot-}$ ),  $H_2O_2$ , защитных пигментов — антоцианов, а также активность АЛС в зеленых проростках озимого рапса, выращиваемых в присутствии СМГ Магнум. Было отмечено существенное снижение содержания антоцианов в присутствии 200 и 500 мг/л Магнума (79 и 71 % от контрольных растений, выращиваемых на воде). Экзогенная АЛК практически полностью восстанавливала содержание антоцианов до уровня контрольных растений при добавлении к 500 мг/л СМГ. В растениях рапса, обработанных Магнумом, способность растений генерировать  $O_2^{\cdot-}$  практически не отличалась от таковой в растениях водного контроля. Добавление АЛК к гербициду приводило к устойчивому снижению способности генерировать  $O_2^{\cdot-}$  (на 17, 28 и 31 % при добавлении 0.1; 1.0 и 10 мг/л экзогенной АЛК к 200 мг/л Магнума) и на 7, 20 и 28 % соответственно при добавлении к 500 мг/л СМГ. Содержание  $H_2O_2$ , возрастало при выращивании растений на 200 и 500 мг/л гербицида — 162 и 114 % соответственно по сравнению с контролем. Экзогенная АЛК (0.1; 1.0 и 10 мг/л) значительно снижала содержание  $H_2O_2$  при ее добавлении к 200 мг/л Магнума — на 54, 45 и 49 % соответственно. Активность АЛС составляла 72 % в растениях, выращенных на растворе Магнума 500 мг/л, и возрастала при добавлении к гербициду экзогенной АЛК на 13–23 % по сравнению с действием одного гербицида. Таким образом, восстанавливая активность АЛС, увеличивая уровень антоцианов и снижая содержание АФК, экзогенная АЛК способствует формированию устойчивости растений озимого рапса к действию СМГ Магнум.

## ДЕЙСТВИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА СЕЛЕКЦИОННЫЕ ФОРМЫ ПОДСОЛНЕЧНИКА

Азарин К.В., Федорова М.А., Усатов А.В., Кулишова Г.А.

*Южный федеральный университет, Россия, 344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1*

*E-mail: azkir@rambler.ru*

Действие на растения экстремальных факторов среды приводит к каскаду физиолого-биохимических реакций, в конечном итоге способных вызывать драматическое снижение урожайности с/х культур. В связи с этим оценка устойчивости селекционных форм в модельных экспериментах может быть информативным критерием для целей предварительного скрининга. В работе исследовали физиолого-биохимические показатели у родительских форм (11 материнских ЦМС-линий и 4 отцовских Rf-линий), а также 16 гибридов в норме и после действия экстремальных факторов — гипербарическая оксигенация (ГБО) (10 ч., 0,7 МПа) и тепловой шок (ТШ) (6 ч., 50° С) на прорастающие семена подсолнечника.

Действие повышенной температуры за исключением двух материнских форм (ЭД931 и ЭД77) оказалось летальным для всех родительских линий. Исследованные гибриды продемонстрировали большую устойчивость к данному фактору. Из 16 гибридов 7 не взошли, а у оставшихся 9 снижение всхожести составило от 36% до 80% контрольных показателей. В зависимости от гибридной комбинации высота проростков варьировала от 20% до 130%, относительно контроля. Анализ растений, обработанных повышенным давлением чистого кислорода свидетельствует, что ГБО в данном режиме через 36 ч и 60 ч после окончания обработки подавляет митотическую активность клеток корневой апикальной меристемы в различной степени, однако в дальнейшем происходит синхронизация деления клеток и на стадии 1-2 пары настоящих листьев рост проростков не отличается от контроля. Анализ активности антиоксидантной системы (СОД, каталаза, глутатионпероксидаза, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-люминол-индуцированная хемилюминесценция, супероксид анион радикал) после действия ГБО на проростки выявил различия между изучаемыми формами подсолнечника, которые позволили предположить, что резерв антиоксидантной защиты гибридов выше по сравнению с родительскими линиями. Таким образом, сравнительный анализ спектра физиолого-биохимических показателей у растений подсолнечника после действия экстремальных факторов среды показал более высокую по сравнению с родительскими линиями устойчивость гибридов к действию гипербарической оксигенации и тепловому шоку. Наиболее устойчивыми формами по результатам морфофизиологического, цитогенетического и биохимического анализа являются гибриды ЭД73 × ВД110, ЭД236 × ВД110 и ЭД73 × ВД541.

Исследование выполнено в рамках темы Министерства образования и науки РФ (№ 4.5642.2011) и при финансовой поддержке ФЦП Министерства образования и науки РФ (госконтракт № 16.740.11.0485).



## СТРЕСС-ИНДУЦИРУЕМЫЕ БЕЛКИ В РЕКАЛЬЦИТРАНТНЫХ СЕМЕНАХ КАШТАНА КОНСКОГО

Азаркович М.И.<sup>1</sup>, Гумилевская Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук,  
Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт биохимии им. А.Н. Баха Российской академии наук, Москва, Россия  
E-mail: m-azarovich@ippras.ru*

Семена растений представляют собой уникальный объект для изучения механизмов устойчивости и адаптации к абиотическим стрессам. Зародыш семени в период созревания, покоя и раннего прорастания, сталкиваясь с неблагоприятными стрессовыми условиями, должен, с одной стороны, изменить клеточную активность на уровне экспрессии генов и индуцировать синтез антистрессовых белков, чтобы защитить себя и преодолеть действие стресса, а с другой стороны, должен обеспечить экспрессию генов белков, необходимых для дальнейшего развития, т.е., самого прорастания.

Зрелые семена каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) неустойчивы к высыханию (т.е., относятся к рекальцитрантному типу семян), но устойчивы к длительному холодовому стрессу, которому подвергаются оводненные семена, находящиеся под снегом в зимний период в средней полосе России. При созревании семена каштана испытывают воздействие повышенных температур.

Исследовали стресс-индуцируемые белки — дегидрины и белки теплового шока (БТШ) в рекальцитрантных семенах каштана в период покоя и раннего прорастания.

Показано, что дегидрины в тканях покоящихся семян выявлялись при иммуноблоттинге в виде одного термостабильного полипептида с молекулярной массой около 50 кД и одного термолабильного белка с молекулярной массой 85 кД. При наклевывании семян уменьшалась не только сама фракция термостабильных белков, но и относительное содержание в ней дегидринов. Очевидно, что прорастание рекальцитрантных семян сопровождается исчезновением дегидринов, как и прорастание ортодоксальных семян.

Анализ действия теплового шока (ТШ) на экспрессию генов в тканях зародыша покоящихся семян каштана показал, что при тепловом воздействии происходит индукция широкого спектра БТШ при одновременном росте трансляционной активности и сохранении синтеза основной массы нормальных (нешоковых) клеточных белков. Благодаря этой особенности ответа на ТШ клетки зародыша на ранних этапах прорастания в случае появления неблагоприятных условий сохраняют способность продолжать или поддерживать на достаточном уровне синтез белков, необходимых для переключения клеточной активности на новую программу развития, с эмбриогенеза на прорастание, и тем самым повышается надежность самого прорастания.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и Программы «Молекулярная и клеточная биология» Президиума РАН.

**АККУМУЛЯЦИЯ И ГИПЕРАККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДИКОРАСТУЩИМИ ВИДАМИ КРЕСТОЦВЕТНЫХ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ ФИТОЭКСТРАКЦИИ**

**Алексеева-Попова Н.В.**

*Ботанический Институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: nap5151@gmail.com*

В связи с усиливающимся загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) развиваются технологии фиторемедиации и в частности фитоэкстракция с использованием растений гипераккумуляторов (ГА). Большинство известных (ГА) тяжелых металлов относится к сем. крестоцветных. На примере крестоцветных флоры Северного Кавказа сотрудниками лаборатории экологии растительных сообществ был изучен спектр аккумулирующей способности тяжелых металлов (Zn, Cu, Ni, Cd, Pb, Mn) при обогащении почв ТМ и в фоновых условиях. Приводятся примеры видов, ограничивающих поглощение, с усиленной аккумулирующей способностью Zn, Ni, Pb, Cd, а также популяции видов рода *Alyssum* — гипераккумуляторы Ni. Рассматриваются молекулярные механизмы гипераккумуляции и устойчивости к ТМ на видовом и внутривидовом уровне.

Освещаются результаты экспериментального изучения в песчаной культуре аккумулирующей способности дикорастущих видов крестоцветных, выращенных из семян, собранных в природных условиях. При внесении в питательную среду повышенных доз Ni, Zn, Cd отмечена усиленная аккумуляция ТМ при значительных межвидовых различиях. В вариантах с внесением одинаковых доз Ni максимальной концентрацией Ni выделялись виды рода *Alyssum*. Определены уровни аккумуляции ТМ у особей, отличающихся по степени проявления симптомов токсичности. Проведено сравнительное изучение некоторых физиологических реакций дикорастущих видов в условиях токсического действия Ni, Zn, Cd.

Чрезвычайно высокие концентрации Cd, превышающие 1000 мг/кг у *Neslia paniculata*, эвритопного вида со значительной биомассой свидетельствуют о перспективности его использования для фиторемедиации. Виды рода *Alyssum*, гипераккумуляторы Ni, наиболее перспективны для технологий фитоэкстракции.

**ВЛИЯНИЕ ЭПИНА И ЦИРКОНА  
НА РОСТ ПРОРОСТКОВ РЕДИСА (*RHAPHANUS SATIVUS L.*)  
В НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ И СОДЕРЖАНИЕ В НИХ ПРОЛИНА**

**Алиева Зарина М.<sup>1</sup>, Османов Р.М.<sup>2</sup>, Джамалова С.Ш.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Дагестанский государственный университет,*

<sup>2</sup>*Дагестанский государственный педагогический университет, Махачкала, Россия*

*E-mail: zalieva@mail.ru*

Изучение последствий действия нефтезагрязнения на растения и возможностей их блокировки актуально для Дагестана, где сельскохозяйственное производство соседствует с добычей и транспортировкой нефти. В этой связи интерес представляет оценка защитной роли природных регуляторов роста в условиях нефтяного загрязнения. Нами было исследовано действие предобработки семян растворами эпина (Э) и циркона (Ц) на рост проростков редиса в нефтезагрязненной почве и содержание в них пролина.

Отрицательное действие нефти проявлялось в снижении темпов прорастания семян и роста надземной части проростков (с 120 в контроле до 60 мм в варианте с нефтью) и корней (с 175 до 85 мм соответственно). Наблюдалось также снижение коэффициента полярности (отношения масса побегов/масса корней), свидетельствующее о дисбалансе их роста.

Предобработка семян редиса Э повышала размеры и массу проростков, растущих в чистой почве: сухая масса корней увеличивалась в полтора, а надземной части — в 3 раза. Стимулирующее влияние Э и Ц на прирост биомассы в условиях нефтяного загрязнения было отмечено для сухого веса корней. Ц оказывал положительный эффект и на рост корней и надземной части проростков (в варианте с нефтью они составили 95 и 60 мм, а при предобработке Ц — уже 145 и 70 соответственно). При обработке семян Э увеличились только размеры корней (с 95 до 120 мм). Сильное снижение коэффициента полярности во всех вариантах с нефтью не снималось предобработкой регуляторами роста.

При действии различных стрессоров в растениях часто повышается содержание пролина, а интенсивность его накопления обычно коррелирует с напряженностью воздействия. Нами был проведен анализ содержания пролина в семядолях и гипокотилиях редиса, поскольку сведения о влиянии нефти на его накопление ограничены. В семядолях проростков редиса уровень пролина повышался с 3.2 мкМ/г сырой ткани в контрольном варианте до 5.0 — в нефтезагрязненной почве. При предобработке проростков, культивируемых в почве с нефтью, растворами Э и Ц его содержание снижалось, приближаясь к контрольному показателю. Сопоставление этих данных с наблюдаемым при такой предобработке повышением жизнеспособности в определенной мере может свидетельствовать о протекторной роли данных регуляторов при действии нефти. Гипокотили редиса в разных вариантах по содержанию пролина не различались.

В целом можно сделать вывод о том, что использование Э и Ц для снижения токсичности нефтезагрязненных почв является перспективным направлением исследований.

**СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ЛИСТЯХ ВИДОВ РОДА ACER L. ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

**Артюшенко Т.А., Гришко В.Н.**

*Криворожский ботанический сад Национальной академии наук Украины,*

*Кривой Рог, Украина*

*E-mail: art.tatyana2@mail.ru*

По мнению ряда авторов высокое содержание витамина С является необходимым запасом «прочности» на случай нарушения системы его регенерации в клетке. Поэтому аскорбат рассматривается как промежуточный катализатор окислительно-восстановительных реакций, с интенсивностью которых связана устойчивость растений к стрессовым факторам.

Нами были исследованы особенности реутилизации аскорбиновой кислоты у трех видов рода *Acer L.* в условиях повышенного содержания никеля, кадмия, свинца, меди, железа и цинка на промплощадке рудообогатительной фабрики (РОФ) Северного горнообогатительного комбината (г.Кривой Рог, Украина) и дендрария Криворожского ботанического сада НАН Украины (контроль) в фазу полного обособления листа, в начале и конце фазы завершения роста и созревания листа.

При действии промышленных эмиссий содержание аскорбата в листьях увеличивалось только у *A. negundo*. Учитывая, что количество окисленных его форм также росло, можно предположить интенсификацию его синтеза в ответ на стресс. В конце вегетационного периода на РОФ снижение уровня аскорбиновой кислоты на 12% сопровождалось ростом количества окисленных ее форм на 19%. Такое изменение стратегии функционирования аскорбатзависимой системы защиты может быть связано с процессами старения листьев. Тем не менее, подобное перераспределение форм аскорбиновой кислоты при загрязнении свидетельствует о довольно эффективном функционировании этой антиоксидантной систем.

У других видов количество аскорбиновой кислоты при хронической интоксикации снижалось. В листьях *A. pseudoplatanus* уменьшение концентрации аскорбиновой кислоты сопровождалось ростом окисленных ее форм. Эмиссии тяжелых металлов на 80-85 сутки фазы завершения развития и вызревания листа у *A. pseudoplatanus* вызывали истощение внутриклеточного пула витамина С и усиление окислительных процессов. Так, количество аскорбиновой кислоты не изменялось, тогда как уровень дегидроаскорбиновой и 2,3-дикетогулоновой кислот снижался, вероятно, вследствие интенсификации процессов деградации последней.

Хроническое загрязнение обуславливало снижение всех форм антиоксиданта у *A. platanoides* вследствие интенсификации использования аскорбата для обезвреживания интермедиатов стрессового влияния. Уровень дегидроаскорбиновой и 2,3-дикетогулоновую кислот снижался, что может быть свидетельством, как усиления окислительных процессов, так и того, что у данного вида это антиоксидант, по-видимому, не играет большой роли в механизмах защиты и детоксикации стрессовых интермедиатов.

## **АДАПТАЦИЯ МХА *BRYUM CAESPITICIMUM* HEDW. К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ**

**Банк О.Л.**

*Институт экологии Карпат НАН Украины, г. Львов, Украина*

*E-mail: morphogenesis@mail.lviv.ua*

Действие различных абиотических факторов—засуха, температурный стресс (гипертермия, особенно в летние месяцы), повышенная инсоляция, приводят к активации защитных и приспособительных реакций растений. Адаптация растений контролируется сложной молекулярно-генетической системой, которая индуцирует определенный стресс-реагирующий механизм, обеспечивающий поддержание гомеостаза растительного организма, и защищает от разрушения молекулярные и структурные клеточные компоненты. Основные адаптивные изменения у растений происходят на морфологическом, и в первую очередь, на биохимическом уровнях. Устойчивость растений к абиотическим стрессорам обусловлена экспрессией генов, которые берут участие в сигнальных и регуляторных системах, в запуске синтеза стрессовых белков, функциональных и структурных метаболитов.

Проанализировано электрофоретические спектры кислых растворимых белков и множественных молекулярных форм эстеразы и пероксидазы мха *Bryum caespiticium* Hedw. на опытных трансектах отвала №1 Язовского месторождения серы государственного горно-химического предприятия «Сера» и с фоновой территории природного заповедника «Расточье» в зависимости от температуры, интенсивности света и влажности. Анализ электрофореграм кислых растворимых белков свидетельствует, что 7 белковых фракций присутствуют у каждого из проанализированных образцов. Выявленные качественные и количественные изменения в белковых спектрах мха в контроле и с опытных трансект отвала добычи серы под воздействием абиотических стрессоров позволяют считать белки биомаркерами реакции растительного организма на неблагоприятные экологические условия.

Полиморфизм множественных молекулярных форм ферментов, который контролируется на генетическом уровне, существенно зависит от внешних воздействий, у мхов, в частности, от дефицита влаги и высокой температуры. Поэтому изучение энзиматического аппарата в условиях абиотического стресса дает возможность выявить особенности биохимической изменчивости растительного организма. Установлено, что в экстремальных условиях на вершине отвала активизируются низкомолекулярные фракции белков и ферментов, которые относят к стрессовым, что свидетельствует о биохимической адаптации мха к стрессовому воздействию абиотических факторов. Анализ электрофоретических спектров кислых растворимых белков, эстеразы и пероксидазы *B. caespiticium* указывает на широкий диапазон биохимической изменчивости этого вида мха, что дает возможность адаптироваться к неблагоприятным экологическим условиям.

**РАЗВЕРТЫВАНИЕ АДАПТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В РАСТЕНИИ  
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УСЛОВИЙ ДЛЯ ФОТОСИНТЕЗА****Бакирова Г.Г., Чиков В.И.**

*Федерального государственного бюджетного учреждения науки Казанского института  
биохимии и биофизики Казанского научного центра Российской академии наук,  
Казань, Россия  
Email: vichikov@bk.ru*

Представлены экспериментальные данные показывающие изменение фотосинтетического метаболизма углерода, транспорта ассимилятов и ультраструктуры хлоропластов при изменении освещенности, концентрации  $\text{CO}_2$ , нарушения донорно-акцепторных отношений между фотосинтезирующими и потребляющими ассимиляты органами растения. Показано, что уже через несколько секунд уже происходят изменения кинетики образования гликолата и продуктов его метаболизма (серин, глицин). Избыток ассимилятов вызывает их накопление в апопласте и снижает дальний транспорт к потребляющим органам. Это сопровождается увеличением объема крахмала и стромы хлоропластов показывающее, вещество стромы хлоропластов несет функцию депонирования азотсодержащих продуктов фотосинтеза. Наоборот, интенсификация оттока ассимилятов из листа вызывает потерю объема хлоропластов, вплоть до их исчезновения (снижения численности хлоропластов в клетке). Весь процесс адаптации растягивается до нескольких суток. По мере удаления от точки возмущения в адаптацию включаются всё более инертные процессы, а время их собственного полу-изменения пулов возрастает. В результате, развертывание такого адаптационного процесса доходит до органов-акцепторов ассимилятов (в том числе и до всасывающей части корневой системы), которые после изменения своего метаболизма оказывают уже собственным измененным «запросом» на ассимиляты воздействие на фотосинтетический аппарат растения. И начинается новый цикл адаптации. Таким образом, используемые физиологами растений в опытах прошлых лет (60–70-е года XX века) сроки адаптации фотосинтеза к условиям опыта в пределах нескольких минут (и даже десятков минут) не переводили растение в стационарное состояние. Из этого следует, что экспериментатор проводя измерение каких-либо параметров, должен учитывать в какой фазе адаптации может находиться объект после изменения условий и делать соответствующие коррективы в свой эксперимент или его интерпретацию.

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДОБРАБОТКИ КАДМИЕМ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЯЧМЕНЯ К ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ДЕЙСТВИЮ ПОВЫШЕННЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МЕТАЛЛА И ЕГО НАКОПЛЕНИЕ В НАДЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ**

**Батова Ю. В., Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия  
E-mail: batova@krc.karelia.ru*

В условиях лабораторного опыта изучали влияние предобработки растений кадмием в концентрации 1 мкМ на их устойчивость к действию металла в концентрации 100 мкМ, а также на его накопление в надземных и подземных органах. Для этого растения ячменя сорта Зазерский 85 выращивали в течение 7 суток в условиях песчаной культуры при температуре воздуха 20–22°C, освещенности 10 клк и фотопериоде 14 ч, а затем перенесли в пластиковые контейнеры на половинный питательный раствор Кнопа (контроль) или на раствор с добавлением кадмия в концентрации 1 мкМ (опыт). Через 1 сутки растения опытного и контрольного вариантов подвергали действию металла в концентрации 100 мкМ в течение 7 суток. Об устойчивости растений к кадмию судили по приросту сырой биомассы надземных органов. Содержание металла в органах растений определяли методом инверсионной вольтамперометрии на полярографе АВС–1.1 («Вольга», Россия).

Исследования показали, что предобработка растений кадмием в концентрации 1 мкМ в течение 1 суток повышает их устойчивость к последующему воздействию этого металла в значительно более высокой (100 мкМ) концентрации. Так, если у растений контрольного варианта под влиянием кадмия в концентрации 100 мкМ накопление биомассы побега полностью тормозилось, то у растений, прошедших предобработку металлом отмечено заметное увеличение (на 17%) биомассы побега.

Кроме того обнаружено, что предобработка кадмием оказывала существенное влияние на содержание металла в органах растений. В частности, если в контроле содержание металла в корнях, стеблях и листьях к концу опыта составило соответственно  $149 \pm 12$ ,  $15 \pm 0.9$  и  $1.9 \pm 0.4$  мкг/г сырого веса, то у растений, прошедших предобработку кадмием —  $104 \pm 4$ ,  $10 \pm 0.8$  и  $0.7 \pm 0.1$  мкг/г, соответственно. При этом распределение металла между подземными и надземными органами растений в обоих вариантах было одинаковым: 90% кадмия аккумулировали корни, 10% — побеги.

Таким образом, установлено, что предобработка растений ячменя кадмием в низкой (1 мкМ) концентрации в течение 1 суток вызывает увеличение их устойчивости к последующему воздействию этого металла в более высокой (100 мкМ) концентрации. Одновременно с этим подобная предобработка приводит к снижению накопления металла в органах растений, что говорит об активации у них защитно-приспособительных механизмов, участвующих в регуляции поглощения и/или выведения ионов кадмия клетками корня.



**РОЛЬ ЛЕКТИНА В ФОРМИРОВАНИИ ИНДУЦИРОВАННОЙ  
24-ЭПИБРАССИНОЛИДОМ УСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ К КАДМИЕВОМУ СТРЕССУ****Безрукова М.В., Мурзабаев А.Р., Шакирова Ф.М.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимии  
и генетики Уфимского научного центра Российской академии наук, Уфа, Россия  
E-mail: lectin@anrb.ru*

Одним из известных компонентов формирования неспецифической устойчивости пшеницы является агглютинин зародыша пшеницы (АЗП), типичный представитель лектинов злаков, относящийся к разряду АБК-регулируемых белков. Ранее нами было выявлено, что в индукции экспрессии гена АЗП и накопления АЗП участвует также и 24-эпибрасинолид (ЭБ), в спектре физиологического действия которого обнаруживается четко выраженный защитный эффект на растения при воздействии разных по природе стрессовых факторов. В частности, брасиностероиды оказались эффективными в нейтрализации неблагоприятного воздействия тяжелых металлов на различные физиологические процессы растений. С использованием ингибитора биосинтеза АБК флуридоном нами обнаружено вызываемое 1 мМ ацетатом кадмия резкое увеличение уровня АБК, предшествующее двукратному обратимому накоплению АЗП в корнях, которое сопровождалось его экскрецией в среду инкубирования проростков пшеницы. Предобработка 0.4 мкМ ЭБ вдвое снижала уровень вызываемого кадмием накопления АБК, а также АЗП в корнях и во внешней среде. Эти данные указывают на меньшую степень повреждающего действия кадмия на предобработанные ЭБ растения. Предобработка флуридоном совместно с ЭБ привела к торможению стресс-индуцированного накопления АБК, однако содержание АЗП в этих проростках поддерживалось на уровне, близком таковому в варианте опыта лишь с предобработкой ЭБ, что отразилось и в содержании АЗП во внешней среде. Это указывает на независимую от АБК способность ЭБ регулировать количественный уровень АЗП в корнях растений в условиях кадмиевого стресса и, следовательно, наличие альтернативных путей гормональной регуляции концентрации лектина, вовлекающегося в развитие устойчивости пшеницы к кадмию. О проявлении протекторного действия ЭБ свидетельствуют также данные о предотвращении ростиингибирующего эффекта кадмия на растения пшеницы. Таким образом, нами продемонстрировано вовлечение лектина, играющего важную роль в формировании неспецифической устойчивости пшеницы, в реализацию защитного действия ЭБ на растения пшеницы в условиях кадмиевого стресса.

Работа поддержана грантом РФФИ № 11-04-01642.

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГАЗООБМЕНА И ПИГМЕНТНОГО ФОНДА  
ПРЯМОСТОЯЧИХ И СТЕЛЮЩИХСЯ ВИДОВ СОСНОВЫХ****Бендер О.Г., Зотикова А.П.***Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия**E-mail: obender65@mail.ru*

Изучали интенсивность газообмена и состояние фотосинтетического аппарата с мая по сентябрь у 4 видов различных жизненных форм хвойных: *P. sibirica*, *P. sylvestris* — прямостоячие, *P. pumila*, *P. mugo* — стелющиеся виды. Исследуемые объекты произрастали в одинаковых условиях на территории научного стационара на юге Томской области. В естественных условиях кедр сибирский *Pinus sibirica* Du Tour и кедровый стланик *Pinus pumila* (Pall.) Regel. являются симпатрическими видами, ареалы которых перекрываются в Прибайкалье и Забайкалье. Сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L. и сосна горная *Pinus mugo* Turra совместно произрастают в субальпийских поясах всех горных массивов Южной и Западной Европы — от Пиренеев до Карпат. В обстановке постоянного недостатка тепла и кратковременности вегетационного периода кедровый стланик и сосна горная приобрели адаптивные свойства на структурном и функциональном уровнях, которые обеспечивают им не только выживание, но и успешное функционирование там, где произрастание других хвойных невозможно. Одним из таких свойств является полегание стволов стланиковых растений с началом морозов и их перезимовка под слоем снега.

Анализ результатов показал, что в течение всего срока наблюдений интенсивность фотосинтеза у прямостоячих видов была выше, чем у стелющихся. Максимальная разница отмечена в июле и составляла 15% в паре *P. sibirica*—*P. pumila* и 30% в паре *P. sylvestris*—*P. mugo*. По убыванию фотосинтетической активности виды располагались в следующем порядке: *P. sylvestris*>*P. sibirica*>*P. pumila*>*P. mugo*. Аналогичные результаты были получены при определении сезонной динамики зеленых пигментов. Сумма хлорофиллов в течение всего вегетационного периода была выше у прямостоячих по сравнению со стелющимися видами. Следует отметить, что наибольшая разница в содержании пигментов отмечена в паре *P. sylvestris*—*P. mugo*. — до 50%, у пары *P. sibirica*—*P. pumila* разница составила только 15%. По убыванию количества зеленых фотосинтетических пигментов виды располагались в таком же порядке как по активности фотосинтеза: *P. sylvestris*>*P. sibirica*>*P. pumila*>*P. mugo*. Следует отметить самые низкие показатели содержания пигментов и интенсивности фотосинтеза среди изучаемых видов у сосны горной, для которой, по-видимому, условия произрастания в Томской области являются более стрессовыми, чем горный океанический климат. В целом, адаптивная стратегия стелющихся видов направлена на повышение устойчивости, а у прямостоячих видов на повышение продуктивности дерева.

## УСТОЙЧИВОСТЬ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБИАЛЬНЫХ СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ФИТОРЕМЕДИАЦИИ

Благова Д.К.<sup>1</sup>, Постригань Б.Н.<sup>1</sup>, Федяев В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИБГ УНЦ РАН, Уфа, Россия

<sup>2</sup>Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

E-mail: [blagova\\_darya@mail.ru](mailto:blagova_darya@mail.ru)

Одной из актуальных экологических проблем, является загрязнение почвы тяжелыми металлами такими как кадмий, свинец, никель и др. (ТМ). Перспективным способом для очистки земель, содержащих ТМ способом выглядит фиторемедиация — использование растений для извлечения из почвы загрязняющих веществ. Для повышения ее эффективности используются рекомбинантные штаммы бактерий, способные изолировать ТМ из почвы. Одним из возможных способов, который может применяться для получения таких штаммов, является перенос в бактерии гена псевдофитохелатина — синтетического белка, богатого цистеином и способного связывать кадмий.

Ранее нами было показано, что растения табака, трансгенные по гену лектина гороха (*psl*) лучше адсорбируют на своих корнях бактерии *Rhizobium leguminosarum*. Целью работы было исследовать способность к накоплению кадмия симбиотической системы, включающей растения табака, трансгенные по *psl* и ризобии, с геном псевдофитохелатина (*pph*).

Ген *pph* был клонирован в плазмиде pJN105, данной конструкцией трансформировали бактерии *R.leguminosarum* 1078. Было выяснено, что трансформированные бактерии способны расти на среде с концентрацией кадмия до 400 мкМ/л.

Трансгенные растения табака, экспрессирующие ген *psl* и контрольные инокулировали штаммом ризобий с *pph* и штаммом дикого типа. Данные растения выращивали в почве, с концентрацией кадмия 300 мкМ в течение месяца. После этого растения сжигали и измеряли содержание кадмия в сухой массе.

Было обнаружено, что при выращивании растений в почве без добавления кадмия, содержание его в растениях, инокулированных бактериями с *pph* незначительно повышалось по сравнению с растениями, выращиваемыми без бактерий, что, возможно, связано с наличием небольшого количества кадмия в почве.

На почве, содержащей 300 мкМ кадмия при инокуляции растений нетрансформированным штаммом бактерий, количество кадмия в биомассе трансгенных растений табака снижалось на 60%. В нетрансгенных растениях содержание кадмия оставалось на таком же уровне, как в растениях, выращиваемых без ризобий.

При инокуляции растений штаммом с *pph* количество кадмия в растениях значительно возрастало. В нетрансгенных растениях кадмия было в 2,7 раз больше по сравнению с растениями, выращиваемыми без инокуляции, а в растениях, трансгенных по гену лектина — в 3,4 раза. При этом в *psl*-растениях, инокулированных *pph*-ризобиями содержание

кадмия было на 30% выше, чем в нетрансгенных. Полученные данные открывают возможность использования данных симбиотических систем в фиторемедиации.

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНОТИПОВ ТОМАТА (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.), РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСОЛЕНИЮ, В УСЛОВИЯХ *IN VITRO*.**

**Богоутдинова Л.Р.<sup>1,2</sup>, Баранова Г.Б.<sup>1</sup>, Баранова Е.Н.<sup>1</sup>, Халилуев М.Р.<sup>1,2</sup>, Долгов С.В.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии РАСХН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Филиал института биоорганической химии имени академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Пуцино, Россия*  
*E-mail: marat131084@rambler.ru*

В качестве растительного материала для исследований были использованы промышленный сорт томата Рекордсмен и селекционная линия ЯЛФ, используемая в качестве отцовской линии при получении гибрида F1 Юниор. Объектом для проведения экспериментов являлись 12-дневные проростки в фазе семядольных листьев, полученные из пророщенных в асептических условиях семян. Влияние засоления на рост и развитие проростков томата *in vitro* оценивали при их культивировании на агаризованной питательной среде Мурасиге-Скуга с ½ концентрацией макроэлементов, дополненной 2% сахарозой, 0,2 мг/л ИМК и NaCl в различных концентрациях (25 mM, 50mM, 75mM, 100mM, 150mM, 200mM, 250mM и 300mM). Для этого в районе гипокотыля у проростков отсекали корневую часть, чтобы размер проростка составлял 1,5 см. Оценку результатов эксперимента проводили после 7 дней культивирования по количеству и длине регенерирующих корней, сухой и сырой биомассе корня и побега. Кроме того, на 8 день проводилась фиксация фрагмента семядольного листа для проведения световой микроскопии.

В результате эксперимента установлено, что исследуемые генотипы томата существенно отличались по степени устойчивости к хлоридному засолению. Так, уже добавление в состав питательной среды NaCl в наименьшей концентрации (25 mM) негативно влияло на количество регенерирующих корней у проростков линии ЯЛФ, а также сырой и сухой биомассе корней и побега по сравнению с контролем (среда без NaCl). При дальнейшем увеличении концентрации NaCl в среде наблюдалось достоверное снижение соответствующих показателей. Что касается сорта Рекордсмен, то концентрациями NaCl, существенно ингибирующими количество регенерирующих корней и снижающими их длину, является соответственно 150 mM и 50 mM. Максимальными концентрациями NaCl в питательной среде, при которых у проростков томата линии ЯЛФ и сорта Рекордсмен происходил ризогенез, являются 150 mM и 250 mM соответственно. При культивировании проростков на среде с большими концентрациями NaCl уже на 5 день наблюдалась некротизация тка-

ней гипокотилия на месте среза. Кроме того, в условиях сильного засоления семядольные листья проростков проявляли признаки хлороза, степень которого возрастала с увеличением концентрации в среде NaCl.

По результатам цитологического исследования при культивировании проростков обоих генотипов на среде высоким уровнем хлоридного засоления объем клеток эпидермиса, столбчатого и губчатого мезофилла семядолей существенно уменьшался.

### **ИЗМЕНЕНИЯ В ПОЛИПЕПТИДНОМ СОСТАВЕ ЗАПАСНЫХ БЕЛКОВ СЕМЯН КЛЕНА *ACER PSEUDOPLATANUS* L. В УСЛОВИЯХ УРБОЦЕНОЗА**

**Богуславская Л.В., Лашко В.В.**

*НИИ биологии Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара,  
Днепропетровск, Украина  
E-mail: milbo@rambler.ru*

Современное состояние зеленых насаждений в Украине и сложная экологическая ситуация, прежде всего в мегаполисах, нуждаются в оптимизации видового состава зеленых насаждений быстрорастущими, декоративными, толерантными к антропогенному воздействию видами растений. Комплексное исследование адаптивных процессов у растений-интродуцентов, изучение биоэкологических, физиолого-биохимических особенностей, позволяют понять механизмы адаптации растений, особенно в условиях постоянно возрастающего загрязнения окружающей среды. Репродуктивная функция растений угнетается в большей степени атмосферными загрязнениями, что приводит к нарушению развития семян и отражается на их жизнеспособности. Электрофоретические спектры полиморфных белков являются эффективными генетическими маркерами. Наиболее полиморфной генетико-биохимической системой являются запасные белки семян. В связи с этим целью работы было исследование особенностей изменчивости генеративного потомства в условиях урбаноценоза с использованием метода белковых маркеров. Объект исследования — зрелые семена *Acer pseudoplatanus* L., собранные с 5 мониторинговых точек г. Днепропетровска, расположенных вдоль основных автомагистралей и в Ботаническом саду ДНУ им. О. Гончара (контроль).

С помощью электрофоретического анализа запасных белков семян клена псевдоплатанового выявлены изменения в составе и накоплении определенных полипептидов в условиях антропогенного загрязнения. В контроле зарегистрировано 13 компонентов, а для опытных образцов — 10–16 компонентов с  $M_r$  от 10,0 до 76,0 кД. Установлено, что основным влиянием антропогенной нагрузки являются количественные изменения в компонентном составе запасных белков семян клена псевдоплатанового. Основными по количеству белка в зоне как у опытных образцов, так и в контроле были полипептиды с  $M_r$  10,0, 18,6, 20,4, 26,3, 33,1, 56,3, и 66,1 кД. У опытных образцов белки с  $M_r$  10,0, 18,6 и 20,4 кД

показали сниженную способность к аккумуляции, что может быть одной из причин снижения адаптивного потенциала в условиях антропогенной нагрузки.

Таким образом, выявленные изменения белкового комплекса семян клена псевдоплатанового показывают возможность использования белковых маркеров для оценки состояния древесных растений в условиях техногенной нагрузки.

## РЕГУЛЯЦИЯ $\text{CO}_2$ -ГАЗООБМЕНА У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ВО ВРЕМЯ ВЕГЕТАЦИИ

**Болондинский В.К.**

*Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия*

*E-mail: bolond@krc.karelia.ru*

У 45-летней сосны обыкновенной с помощью автоматических методов изучали суточную и сезонную динамику  $\text{CO}_2$ -газообмена и транспирации побегов, а также ростовые процессы. Исследования проводились на полевой базе ИЛ КарНЦ РАН, расположенной в 50 км к северу от г. Петрозаводска. На основании данных газообмена, температуры воздуха и хвои, относительной влажности и концентрации  $\text{CO}_2$  в воздухе были рассчитаны устьичная ( $g_s$ ) и мезофильная ( $g_m$ ) проводимость хвои. В нашу задачу входило оценить динамику  $g_s$  и  $g_m$  в процессе поглощения  $\text{CO}_2$  однолетней хвоей во время вегетации.

На протяжении мая интенсивность фотосинтеза непрерывно увеличивалась, но суточные приросты в конце мая в среднем составили только 1,2 мм. В первые дни июня приросты возросли до 3–5 мм, среднесуточные величины фотосинтеза — до 4–5 мкмоль  $\text{m}^{-2} \text{c}^{-1}$ , а  $g_s$  и  $g_m$  — до 0,86 и 0,39 мм/с соответственно. Повышение температуры в начале второй декады июля привело к значительному увеличению транспирационных расходов, дегидратации ствола, уменьшению оводненности хвои. В начале потепления устьичная проводимость оставалась на высоком уровне, но далее уменьшилась более, чем в 2 раза. Однако фотосинтез не только не снизился, но даже увеличился. Во вторую декаду июня при дневной температуре воздуха 25–30°С, средние приросты составляли 18–20 мм/сутки,  $g_s$  снизилась до 0,44;  $g_m$ , наоборот, повысилась до 1,85 мм/с. В утренние часы часто фиксировались очень высокие значения  $\text{CO}_2$ -газообмена — до 11,5 мкмоль  $\text{m}^{-2} \text{c}^{-1}$ , то есть фотосинтетический аппарат работал в режиме гиперфункции. Достигалось это, вероятнее всего, благодаря высокой концентрации и быстрой регенерации основных ферментов (РУБИСКО и др.), ответственных за связывание  $\text{CO}_2$ .

Наступившее похолодание (13–15°С) привело к уменьшению суточных приростов, снижению поглощения  $\text{CO}_2$ , повышению  $g_s$  до 0,5–0,7 мм/с и падению  $g_m$  до 0,3–0,4 мм/с. Во время интенсивного радиального роста во вторую декаду июля средние значения  $g_s$  и  $g_m$  возросли до 0,71 и 0,65 мм/с соответственно. Величины фотосинтеза, как и общая проводимость для молекул  $\text{CO}_2$  ( $g_l$ ) в этот период были близки к таковым в период интенсивного апикального роста побегов. После окончания ростовых процессов в начале августа  $g_s$ ,  $g_m$  и  $g_l$  составили соответственно 0,83; 0,28 и 0,21 мм/с. Среднесуточные значения фотосин-

теза снизились до 1,9–2,5 мкмоль м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>. Хотя на протяжении всего периода измерений дерево не испытывало недостатка почвенной влаги, устьичная регуляция фотосинтеза носила преобладающий характер.

Таким образом, в период интенсивных ростовых процессов, когда запрос на ассимиляты велик, необходимый растению уровень фотосинтеза обеспечивался благодаря увеличению в несколько раз мезофильной проводимости, что говорит об очень высоких потенциальных возможностях фотосинтетического аппарата при естественной концентрации CO<sub>2</sub>.

## ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМУ СТРЕССУ С ПОМОЩЬЮ СИНТЕТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА РОСТА ЭПИНА ЭКСТРА

**Будыкина Н.П., Алексеева Т.Ф.**

*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия*

*E-mail: timeiko@krc.karelia.ru*

Значительные успехи в изучении структурно-функциональных аспектов устойчивости и адаптации растений к действию неблагоприятных факторов внешней среды, включая низкие температуры, достигнутые в последние годы, позволили вплотную подойти к практическому решению задачи повышения стрессустойчивости растений. Реализация адаптивного потенциала растений поддается регулированию с помощью механизмов индукции, которые включаются или самой температурой, или экзогенными и эндогенными гормонами, а также синтетическими регуляторами роста и развития растений. Целью настоящей работы было изучить влияние эпина экстра — синтетического аналога 24-эпибрасинолида на холодоустойчивость *Beta vulgaris* L., *Brassica cauliflora* L., *Capsicum annum* L., *Cucumis sativus* L., *Daucus carota* L., *Lactuca sativa carota* L., *Lycopersicon esculentum* Mill. и *Raphanus sativus* L.. Эпин экстра применяли в концентрациях, согласно рекомендациям фирмы разработчика ННПП «НЭСТ М» (Москва). Опыты проводили в камерах искусственного климата, в пленочных весенне-летних теплицах и в открытом грунте в условиях Северо-Запада России (на примере Карелии). Исследования показали, что эпин экстра обладает сильным антистрессовым действием. При этом эффективность его влияния на процесс формирования холодоустойчивости в значительной степени зависит от интенсивности действующей на растения температуры. У всех изученных нами видов овощных растений эпин экстра стимулирует рост холодоустойчивости при низких положительных температурах (зона холодого закаливания и холодого повреждения) и не оказывает влияния на этот показатель при физиологически нормальных температурах. Например, в условиях весеннего выращивания, когда ночная температура воздуха колебалась от +6 до +13°С, препарат вызывал заметное повышение холодоустойчивости, максимально проявившееся на 5–7-е сут после обработки им растений: у редиса и салата листового — на 0.5°С, у капусты цветной, моркови и свеклы столовой — на 0.3°С. Установлено также, что в зоне повреждающих температур его адаптивное действие было наиболее существенно и стабильно — прирост устойчивости растений почти в 2 раза превышал его значение при



действию закаливающих температур. Таким образом, используя эпин экстра в качестве адаптогена, можно сдвинуть сроки посева семян в поле, не опасаясь поздне-весенних заморозков, и высадку рассады овощных культур в пленочные теплицы в условиях Карелии на более ранние сроки и тем самым «раздвинуть» границы жизнедеятельности растений, присущие им в норме.

## **НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В САБЕЛЬНИКЕ БОЛОТНОМ (*COMARUM PALUSTRE L*) В СВЯЗИ С АДАПТАЦИЕЙ И ТЕМПАМИ РОСТА**

**Булатова С.В., Бахтенко Е.Ю., Петрова П.И., Загоскина Н.В.<sup>1</sup>**

*ГОУ ВПО Вологодский государственный педагогический университет, г. Вологда,*

*Орлова, 6, (8172)76-91-96*

*E-mail: bakhtenko@yandex.ru*

<sup>1</sup>*Москва, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Ботаническая 35*

*E-mail: ofr@ippras.ru*

Образование и накопление фенольных соединений является динамическим процессом, в значительной степени зависящим от условий внешней среды (низкие положительные температуры, интенсивное солнечное излучение, засуха и т.д.). Известно, что фенольные соединения, являясь вторичными метаболитами, накапливаются в органах в ответ на действие стресс-факторов и изменяют физиологическое состояние растений. Крайне мало изучено влияние условий произрастания на накопление фенольных соединений и связь фенольного метаболизма с темпами роста.

Целью работы являлось изучение влияния климатических условий и эколого-ценотических факторов на рост и накопление фенольных соединений в органах сабельника болотного (*Comarum palustre L*). Растительный материал собирали в Великоустюгском районе Вологодской области из двух ценопопуляций: ценопопуляция I — вахтово-сабельниково-осоковое болото (место расположения низинное болото) и ценопопуляция II — сосняк сабельниково-бруснично-черничный (место расположения сосняк сфагновый). Содержание суммы фенольных соединений (ФС) и флаванов (ФЛ) определяли спектрофотометрическим методом, определение содержания свободных форм фитогормонов — иммуноферментным методом.

Содержание ФС в растениях сабельника болотного зависит от климатических условий года вегетации. Выше содержание ФС в надземных органах сабельника при более низкой среднемесячной температуре и небольшом количестве осадков, что, по-видимому, связано с ролью ФС в процессе адаптации растений к низким температурам и засухе.

Установлены различия в содержании ФС и ФЛ у растений, произрастающих в местообитаниях, отличающихся по интенсивности освещения. В растениях сабельника, собранных в ценопопуляции I (освещенность 13000–20000 лк), содержание ФС и ФЛ выше по сравнению с растениями, собранными в ценопопуляции II (освещенность 2000–5000 лк).

Известно, что наибольшее образование фенольных соединений происходит в молодых, интенсивно растущих тканях. Это проявилось и в наших исследованиях. Растения сабельника с наибольшим содержанием ФС и ФЛ (ценопопуляция I) отличались: более активным ростом побегов наличием вторичных и генеративных побегов, большим количеством листочков в сложном листе. У растений сабельника, собранных в ценопопуляции II, отмечено снижение содержания ФС и ФЛ, длины побегов, меньшее количество листочков в сложном листе, отсутствие вторичных и генеративных побегов.

Изменения физиологического состояния растения под влиянием факторов внешней среды оказывают воздействие, как на биосинтез ФС, так и на сопряженный с ним гормональный статус сабельника болотного при его росте в разных местах обитания. Листья и стебли сабельника ценопопуляции I содержат больше ИУК и цитокининов, что свидетельствует об активном росте и накоплении надземной массы. Более низкое содержание ИУК и цитокининов в листьях и стеблях сабельника ценопопуляции II соответствуют низким темпам роста растений.

### **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИТОКИНИНОВ В КОРНЕВИЦЕ РАСТЕНИЙ *CAREX HIRTA* L., КОТОРЫЕ РОСЛИ НА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ**

**Буньо Л.В.<sup>1</sup>, Войтенко Л.В.<sup>2</sup>, Цвильнюк О.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Львовской национальной университет имени Ивана Франко, Львов, Украина

<sup>2</sup>Институт ботаники им. М.Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина

E-mail: bioza@ukr.net; Lesya\_voytenko@ukr.net

*Carex hirta* L. — растение, которое может расти на нефтезагрязненной почве. Размножается преимущественно подземными органами — корневищем, которое с чистой среды первым врастает в загрязненную почву.

Современные исследования свидетельствуют о том, что цитокинины (ЦТК) — это фитогормоны, которые участвуют в адаптации растений к неблагоприятным факторам, а также сигнализируют об изменении условий окружающей среды от корня к побегу. Поэтому целью работы было определить ЦТК в разных частях подземного побега осоки.

Растения *C. hirta* с опытных участков, где нефть была внесена из расчета 50 г на килограмм дерново-подзолистой почвы, на 30-е сутки роста выкапывались. Корневища промывались в холодной со льдом воде и делились условно на 3 части: апикальная, средняя и базальная. Определение ЦТК проводили методом ВЭЖХ.

Общее содержание ЦТК в корневище уменьшалось на 40% относительно контроля. Известно, что снижение содержания ЦТК в ответ на солевой стресс, на дефицит воды в почве (что и происходит при нефтяном загрязнении почвы), традиционно считается одним из механизмов, обеспечивающих адаптивную ростовую реакцию растений. А именно: уменьшение скорости роста побега, что приводит к экономии воды и позволяет мобилизовать ресурсы для роста корней и оптимизации их поглотительной способности.

В разных частях корневища содержание ЦТК отличается. В апикальной части, которая первая попадает в нефтезагрязненную почву наблюдали уменьшение ЦТК более чем в 3 раза относительно контроля, а в средней части — более чем в 2 раза относительно контроля. В базальной части происходит накопление ЦТК — в 1,6 раз больше относительно контроля. И увеличивается в данной части наиболее активная форма ЦТК — зеатин. Его содержание увеличивается на 300 % к контролю.

Очевидно токсические вещества нефти попадая в корневую систему растения из нее передвигаются по растению, в том числе и по корневищу. Поскольку базальная часть размещена ближе к корню, то соответственно она испытывает наибольшее токсическое влияние по сравнению с другими частями корневища. Увеличение зеатина приводит к адаптации и растение постепенно выходит из состояния стресса.

Итак ЦТК принимают непосредственное участие в системе ответа растений на стресс — нефтяное загрязнение почвы. Наиболее негативное влияние испытывает базальная часть корневища растений *C. hirta*, а не апикальная, как мы предполагали. Поэтому важно для рекультивационных работ высаживать растения в чистую почву, а корневище может расти в нефтезагрязненной почве. При этом, во время своего роста, корневище будет вызывать растрескивание битумной корки на поверхности загрязненной почве и тем самым способствовать быстрой деструкции нефти в почве.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ В НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ**

**Величко О.И., Терек О.И.**

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко, Львов, Украина*

*E-mail: oksvell@gmail.com*

Загрязнение почвы нефтью — пример многокомпонентной и разносторонней атаки на почвенную экосистему. Прежде всего, входящие в состав нефти метановые и ароматические углеводороды, оказывают прямое токсическое воздействие. Такие компоненты нефти, как смолы и асфальтены, — закупоривают поры почвы и этим препятствуют проникновению в почву кислорода и воды. Недостаток кислорода отрицательно сказывается на функционировании почвенной микробиоты, особенно — аэробных микроорганизмов. Дефицит влаги становится причиной нарушения естественных путей движения воды, что обуславливает уменьшение доступности элементов минерального питания для растений. Кроме этого, в результате нефтедобычи в почву попадают высокоминерализованные воды (чаще всего с содержанием хлоридов и сульфатов), вследствие чего происходит засоление почвы. Также, попадание углеводородов в почву провоцирует кардинальные изменения состава микробиологического сообщества в сторону стимуляции развития популяций, для которых углеводороды — субстрат питания. Поскольку эти микроорганизмы нуждаются в значительных количествах азота, как следствие — в почве создается исключительный дис-

баланс между азотом и углеродом. В созданных условиях, потенциальной возможностью улучшить азотный режим нефтезагрязненной почвы является выращивание в ней бобовых растений, не столь зависимых от уровня азота в почве за счет возможности фиксировать его из атмосферы в результате деятельности бобово-ризобияльных симбиозов. В наших исследованиях установлено толерантность к условиям нефтезагрязненной почвы бобовых растений: люцерны, сои и клевера. Их адаптация к исследуемым экстремальным почвенным условиям обеспечивалась за счет преобразований на фенотипическом (за счет изменений строения корневых систем) и метаболическом (повышение всасывающей силы клеток корней, активирование антиоксидантной системы защиты и др.) уровнях. Установлено, что растения люцерны и клевера образовывали бобово-ризобияльные симбиозы с аборигенными клубеньковыми бактериями, а растения сои — в результате искусственной инокуляции их семян высокоактивными штаммами *Bradyrhizobium japonicum*, в нефтезагрязненной почве. У вегетационных исследований установлено нитрогеназную активность сформированных симбиозов в почве, содержащей 5 и 7% нефти. Привлечение в биологический круговорот атмосферного азота симбиозами бобовых растений с клубеньковыми бактериями в нефтезагрязненной почве будет способствовать улучшению азотного режима и повышению биохимической активности почвы.

## **ВЛИЯНИЕ СТРЕССОВЫХ УСЛОВИЙ НА УЛЬТРАСТРУКТУРУ ЛИШАЙНИКОВ**

**Власова Т.А.**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: tat\_vla@list.ru*

Лишайник является симбиотической ассоциацией гриба и водоросли, в которой симбионты приобретают специфические свойства, что называется состоянием лишенизации. Применение методов электронной микроскопии для исследования лишайников представляется очень полезным, поскольку оно позволяет составить представление об ультраструктуре, и соответственно, о метаболизме отдельных клеток, а также о многих деталях их взаимодействия.

Методом трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) показали в талломах листоватого лишайника *Peltigera aphthosa*, хранившихся длительное время в воздушно-сухом состоянии при затемнении, ослабление контактов между симбионтами и некоторые деструктивные изменения, т.е. снижение метаболической активности. Это указывало на изменение взаимоотношений фикобионта и микобионта, т.е. их частичную делихенизацию. В благоприятных условиях восстанавливалась ультраструктура обоих симбионтов. Хранение же талломов при естественном освещении приводило к деградации обоих компонентов лишайника и к невозможности их реабилитации. Следовательно, деструкция компонентов лишайника и делихенизация обратимы до определенных пределов.

Известна высокая чувствительность лишайников к загрязнениям окружающей среды. Методом ТЭМ изучали ультраструктуру листоватого лишайника *Hypogymnia physodes* в нескольких участках Кольского полуострова: в контрольной зоне вдали от промышленных объектов и в индустриальном районе при загрязнении среды SO<sub>2</sub> и тяжелыми металлами. В талломах лишайника из загрязненной зоны наблюдались утолщения клеточных стенок и дегенеративные изменения в клетках обоих симбионтов, как и в стареющих участках лишайниковых талломов и в обесцвеченных талломах, длительно хранившихся на свету.

Методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) исследовали ультраструктуру талломов нескольких видов кустистых лишайников рода *Cladonia* из различных участков Кольского полуострова. У лишайников из загрязненной зоны наблюдались заметные искажения морфологии талломов, обусловленные нарушением направления роста гиф, формирующих талломы.

Методом СЭМ изучали поверхность листоватых лишайников *H. physodes* и *P. aphthosa* после обработки ацетоном для удаления части лишайниковых веществ. Существенных изменений структуры поверхностей талломов не обнаружили, хотя способность к поглощению и потере воды у обработанных талломов изменилась.

Таким образом, ультраструктурное исследование может быть полезным для изучения не только анатомии, но и физиологии лишайников.

## **ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕХАНИЗМОВ УСТОЙЧИВОСТИ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР К КОРНЕВОЙ ГИПОКСИИ**

**Войцеквская С.А.<sup>1</sup>, Астафурова Т.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Томский государственный педагогический университет; Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Томский государственный университет; Томск, Россия*

*E-mail: euvit@bk.ru*

Исходя из представлений о существовании различий в путях биохимической адаптации растений, проведено сравнительное изучение адаптационных механизмов у двух толерантных к гипоксии кормовых культур: овсяницы луговой *Festuca pratensis* Huds. и костреца безостого *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub. Анализировали изменения активности анаэробных дегидрогеназ основных метаболических путей в гетеротрофных и автотрофных органах, а также состояние пигментного фонда процесса фотосинтеза этих растений в условиях длительного затопления корневой системы.

При длительной корневой гипоксии в гетеротрофных органах костреца и овсяницы усиливается функционирование алкогольдегидрогеназы, работающей в прямой и обратной реакциях, то есть происходит аналогичная для объектов утилизация токсичных продуктов брожения. Возрастает скорость реакции, катализируемой НАДФ-зависимой глюкозо-6-фосфатдегидрогеназой, и значительно уменьшается активность малатдегидрогеназы, работающей как с НАД, так и с НАДН. Происходящие изменения способствуют обеспе-

чению метаболизма корней при длительной гипоксии. Эти же метаболические процессы в ассимилирующих тканях имеют особенности, характерные для каждого из объектов. Они заключаются в различиях работы алкогольдегидрогеназы с НАД и НАДН, что может отражаться на способах переработки продуктов брожения. При гипоксии в листьях сохраняется высокая активность НАДФ-глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы, то есть работает окислительный пентозофосфатный цикл. Одновременно в листьях обоих видов, но особенно у коостреца, при гипоксии активируется НАД- и НАДН-малатдегидрогеназа. Резкое увеличение активности НАДН-малатдегидрогеназы может свидетельствовать об усилении анаэробных функций фермента, обеспечивая связь с процессом фотосинтеза.

Содержание фотосинтетических пигментов в условиях гипоксии уменьшается и, при неизменном в контроле и опыте отношении хл а/хл в, есть различия для объектов в величине светособирающих комплексов. Полученные результаты позволяют обсуждать пути приспособления растений, связанные со способами детоксикации этанола и образования ассимилятов с участием недоокисленных продуктов гликолиза и метаболитов пентозофосфатного пути.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ У ЭФЕМЕРОИДОВ ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ КАЛМЫКИИ**

**Волошина Т.В.**

*Калмыцкий государственный университет, г. Элиста, Россия*

*E-mail: tat-vol.94@mail.ru*

В условиях Калмыкии недостаток воды и высокие температуры являются ведущими стресс-факторами, определяющими экологические границы жизни растений многих видов. Как известно, существует многообразие форм приспособленности растений к водному дефициту, но все адаптации можно свести к двум типам: активному и пассивному, каждый из которых имеет большое значение. Изучаемые степные растения в условиях Калмыкии представляют тип ксерофитов, избегающих засуху, благодаря короткому онтогенезу.

Проведено сравнительное изучение особенностей водного режима и ростовых процессов у таких эфемероидов как герань клубненосная, валериана клубненосная, тюльпан Геснера и ирис низкий, произрастающих в условиях дерновинно-злаковой подзоны степной зоны Калмыкии. Оводненность растений является важнейшим показателем водного режима, так как от общего содержания воды в растениях зависят все важнейшие физиологические процессы. У изучаемых растений содержание воды было довольно высоким от 79,9% у герани до 84, 2% у валерианы, отличающейся наибольшей оводненностью. Ирис и тюльпан занимали промежуточное положение. Среди эколого-физиологических показателей большое значение для характеристики водного режима имеет интенсивность транспирации (ИТ). Сравнительный анализ этого параметра показал, что данные эфемеро-

иды отличаются по величине расхода воды. Наибольшую ИТ имела герань, затем по данному показателю идет валериана. Тюльпан и ирис резко отличаются по этому параметру от названных растений и характеризовались невысоким уровнем ИТ. Таким образом, изучаемые виды показали различия в водном режиме. Больше всего теряет воды герань, что сказалось на общей оводненности (самый низкий уровень). Тюльпан и ирис имели небольшую транспирацию в данный период вегетации и меньшую оводненность тканей. Кроме водного режима, рост является наиболее показательным процессом, реагирующим на неблагоприятные условия среды и обеспечивающим продуктивность растений. Были проанализированы такие ростовые параметры как высота, сырой и сухой вес растений. В отношении высоты изучаемые растения расположились в следующем порядке: валериана > тюльпан > герань > ирис. Несмотря на низкорослость ириса, за счет большого количества побегов и листьев эти растения имели наибольшие величины сырого и сухого веса, затем идет тюльпан, валериана и герань.

Проведенное изучение физиологического состояния эфемероидов степных экосистем расширяет представление о эколого-биологических особенностях данных растений при их произрастании в условиях Калмыкии и может служить основой для осуществления действий по сохранению биоразнообразия степных экосистем.

### **СТИМУЛИРУЮЩЕЕ ФОТОСИНТЕЗ У ПРОРОСТКОВ *ZEА МАУS L.* ВОЗДЕЙСТВИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ЗАСУХИ**

**Воронин П.Ю., Рахманкулова З.Ф., Маевская С.Н., Николаева М.К., Шуйская Е.В.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки*

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук,*

*Москва, Россия*

*E-mail.: pavel@ippras.ru*

Исследовали влияние 5-дневной почвенной засухи на недельные проростки кукурузы (*Zea mays L.*). Определяли удельную поверхностную плотность листовой ткани, квантовый выход флуоресценции ФС II, содержание хлорофиллов а и b, фотосинтетический  $CO_2$  газообмен и транспирацию при комнатной температуре и насыщающем фотосинтез свету (PPFD 2000  $\mu\text{моль}/(\text{с м}^2)$ ) при атмосферной и половинной от атмосферной концентрации  $CO_2$ . Листья проростков переживших кратковременную засуху отличались от контрольных растений большей удельной поверхностной плотностью. Выявлен стимулирующий эффект засухи на темновую стадию фотосинтеза, проявляющуюся в увеличении фотосинтетического карбоксилирования  $CO_2$  и в снижении сопротивления устьичной проводимости диффузии  $CO_2$  в лист. Сделали вывод, что торможение ростовых процессов у проростков кукурузы в результате кратковременной засухи не сопровождается повреждением фотосинтетического аппарата. Напротив, хорошо освещенный лист после непродолжительного



воздействия формирует более сильный по сравнению с растениями контрольного варианта запрос на фотоассимиляты.

Работа выполнена частично за счёт средств проекта 4.6.3. Направление 4. «Воздействие экстремальных природных явлений и техногенных катастроф на почвенный покров, лесные и болотные экосистемы» Программы Президиума РАН «Оценка и пути снижения негативных последствий экстремальных природных явлений и техногенных катастроф, включая проблемы ускоренного развития атомной энергетики»

## СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН

Гаджиева И.Х.

*Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия*

*E-mail: i\_gadjieva@rambler.ru*

Изучали действие термообработки (ТО) семян (51°C) в течении одного часа на солеустойчивость проростков различных генотипов одно- и двудольных культурных растений: томатов (с.Москвич, Кракус), огурца (с.Феникс, Парад), чечевицы (с.Обыкновенный), тритикале (с.Магнат, Союз), пшеницы (Rht 1, Rht 9).

Семена проращивали в ч.Петри на фильтровальной бумаге, смоченной растворами NaCl (20–200 мМ) и CuSO<sub>4</sub> (0,01–10 мМ), полученные проростки культивировали в контейнерах с керамзитом в тех же растворах.

Засоление снижало всхожесть семян на 5–23%. При высоких концентрациях NaCl (150–200 мМ) и CuSO<sub>4</sub> (5–10 мМ) проростки отмирали на 2–5 дни. Соли индуцировали падение накопления свежей и сухой биомассы, особенно корней, и задерживали темпы роста проростков. Так, при увеличении концентрации NaCl 20–50–100–200 мМ сухая биомасса корней у проростков с.Феникс составила 96-76-52-32% от контроля. У всех проростков в CuSO<sub>4</sub> происходила закладка придаточных корней на фоне резкого торможения их роста. При сопоставимых по отрицательному эффекту концентрациях солей CuSO<sub>4</sub> индуцировала большую аккумуляцию пролина, особенно в листьях

В варианте с ТО количество проклюнувшихся семян в тех же растворах возрастало на 5-12%. ТО вызывала снижение коэффициента полярности проростков, стимулировала накопления свежей и сухой биомассы, особенно корней. Так, прирост сухой биомассы корней у ТО проростков тритикале с.Союз в воде составил 400, NaCl 415, CuSO<sub>4</sub> 425% к контролю (без ТО). ТО индуцировала аккумуляцию пролина в среде с солями, более активно у корней.

Итак, реакция проростков одно- и двудольных растений на засоление среды однотипна. Угнетение ростовых процессов больше зависело от концентрации и ионного состава солей, чем генотипов. ТО семян индуцировала повышение уровня пролина в корнях и повышение солеустойчивости проростков.

## **О ВОЗМОЖНОЙ РОЛИ ЭНДОФИТНЫХ БАКТЕРИЙ В ФОРМИРОВАНИИ УСТОЙЧИВОСТИ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ К ГЕРБИЦИДАМ**

**Гарипова С.Р.**

*Башкирский государственный университет, Уфа, Россия*

*E-mail: garisveta@rambler.ru*

Эндофитные бактерии — естественные симбионты растений. Их обнаруживают во всех видах растений, в любых их органах и тканях. Традиционно эндофитами не называют явных патогенов и паразитов, экологическая роль их определяется как комменсализм или мутуализм, формирующийся по типу факультативного или экологически и генетически облигатного симбиоза. Как и ассоциированному с растением эпифитному (ризосферному и филлосферному) микробному сообществу, эндофитным бактериям присущи: способность к азотфиксации, иммобилизация труднодоступных биогенов, продукция регуляторов роста и сигнальных соединений, активирующих защитные реакции растений против абиотических и биотических стрессов. Таксономически эндофиты очень разнообразны, постоянно открываются новые некультивируемые виды благодаря широкому внедрению технологий прямого генотипирования микробной ДНК из растительных тканей. Доказана регулирующая роль растения в поддержании определенного уровня эндофитной микрофлоры в здоровом растении.

Многие эндофитные бактерии обладают ферментами деградации ксенобиотиков, что обуславливает направленное их использование в фиторемедиации загрязненных сред. В нашей коллекции эндофитных бактерий, отобранных по признаку ростстимуляции растений, была выявлена способность к утилизации гербицида 2,4-Д у 13-ти из 26-ти тестируемых культур. В модельном опыте при проращивании семян двух сортов гороха в водном растворе гербицида 0.1 и 1.1 мг/л инокулированные активными деструкторами 2,4-Д растения на третьи сутки увеличивали рост корней в 1.3–2.4 раза по сравнению с контролем без бактерий. В литературе по результатам модельных опытов отмечается, что растения в симбиозе с эндофитами, не только активно выносили гербицид из почвы, но и не накапливали его в тканях растений. Практическое использование природных и генетически модифицированных бактерий с улучшенными возможностями катаболизма поллютантов позволяет решать как задачу биоремедиации загрязненных остаточными количествами пестицидов почв, так и проблему безопасности сельскохозяйственной продукции. Однако роль способных к деструкции гербицида эндофитов обуславливать резистентность сегетальных растений к гербицидам не изучена. Раскрытие механизмов адаптации растений к ксенобиотикам, обусловленной симбиозом с эндофитными бактериями, позволит перейти к регуляции этих отношений в агроценозе с использованием в биотехнологии микробно-растительных систем новейших достижений геномики, протеомики и метаболомики.

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ У РАСТЕНИЙ ДВУХ ВИДОВ *NIGELLA*, ПОДВЕРГНУТЫХ ЗАСОЛЕНИЮ

Гогуэ Д. О.<sup>1</sup>, Холодова В. П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

E-mail: doss.81@mail.ru

Растения рода *Nigella*, являющиеся источником лекарственных веществ, в регионах их культивирования оказываются под воздействием повышенного содержания солей в почве. Ранее нами было установлено, что негативное влияние засоления на растения *N. damascena* и *N. sativa* проявлялось в торможении линейного роста, накопления биомассы, снижении содержания фотосинтетических пигментов, при этом многократно увеличивалось содержание пролина. В настоящем исследовании растения, подвергнутые 12-дневному воздействию NaCl (70, 110 или 150 мМ) в условиях гидропоники, были перенесены на стандартную среду, без NaCl, с целью изучения процессов восстановления. За 12 дней роста на среде без соли растения обоих видов по высоте побега после умеренного засоления (70 мМ NaCl) практически догнали контрольные растения, но после среднего по интенсивности засоления (110 мМ NaCl) рост восстановился лишь до 60% от контроля. Восстановление биомассы побега и особенно биомассы корня после умеренного и среднего по интенсивности засоления быстрее шло у растений *N. damascena* в сравнении с *N. sativa*. После 12-дневного воздействия 150 мМ NaCl у растений *N. damascena* наблюдалось быстрое и очень значительное (2-3-кратное) увеличение биомассы корня, однако прирост биомассы побега растений этого вида составлял всего 27%. Восстановления роста растений *N. sativa* после 12-дневного воздействия 150 мМ NaCl не наступало; к концу восстановительного периода растения *N. sativa* погибли. Засоление вызывало сильное дозозависимое накопление пролина в листьях растений обоих видов *Nigella*. К началу восстановительного периода уровень пролина в листьях подвергнутых засолению растений превосходил его содержание в листьях контрольных растений в 4.4–10.5 раза. Перенос растений на среду без соли приводил к быстрому и сильному снижению содержания пролина в листьях, более выраженному у растений *N. damascena*, особенно на начальной стадии восстановления (5 дней). Таким образом, растения обоих видов *Nigella* показали способность к восстановлению ростовых процессов после периода умеренного или среднего по интенсивности засоления (70 и 150 мМ NaCl, соответственно) и лишь растения *N. damascena* в небольшом размере восстанавливались после сильного засоления (150 мМ NaCl). Одной из вероятных причин лучшей способности растений *N. damascena* к восстановлению после сильного засоления может являться более интенсивное использование в этот период ранее накопленного пролина как источника органического азота.

**МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА  
ЛИСТОВАТОГО ЛИШАЙНИКА *LOBARIA PULMONARIA***

**Головко Т.К., Далькэ И.В., Захожий И.Г., Дымова О.В., Малышев Р.В.,  
Коковкина Е.В., Табаленкова Г.Н.**

*ФГБУН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия*

*E-mail: [golovko@ib.komisc.ru](mailto:golovko@ib.komisc.ru)*

Известно, что лишайники устойчивы к обезвоживанию и промораживанию. Они не только выживают после таких воздействий, но способны восстанавливать процесс фотосинтеза. Однако, несмотря на многочисленные исследования, понимание механизмов их устойчивости явно недостаточно. Целью работы было изучение действия и последствий десикации и низкой температуры на фотосинтетический аппарат (ФСА) листоватого лишайника *Lobaria pulmonaria*. Реакцию талломов характеризовали по показателям  $\text{CO}_2$ -газообмена, пигментной системы, флуоресценции хлорофилла, уровню липопероксидации и активности антиоксидантных ферментов. В природе оводненность лобарии изменялась от 40 до 70%, в зависимости от сезона года и количества выпадающих осадков. При подсыхании таллома его края скручивались, площадь уменьшалась, и он приобретал серо-коричневую окраску. Функциональная активность фотобионта резко снижалась, что выражалось в уменьшении максимальной фотохимической активности ФС 2 (Fv/Fm) до 0.1. Увлажнение таллома приводило к быстрому восстановлению активности ФС 2 зеленой водоросли. Однако чем дольше талломы находились в сухом состоянии, тем медленнее они восстанавливались при насыщении влагой. Данных о температуре замерзания воды в организме лишайников мало, для некоторых видов пограничной температурой считается  $-5^\circ\text{C}$ . Нами выявлено, что температура фазового перехода вода-лед в талломах лобарии в весенне-летний период составляла  $-7.5^\circ\text{C}$ , к началу зимы снижалась на  $3^\circ\text{C}$ . Ранней весной двухсуточное воздействие температуры  $-16^\circ\text{C}$  на свежесобранные талломы не оказало существенного влияния на состояние ФС 2 и скорость  $\text{CO}_2$ -газообмена, измеренные спустя сутки после прекращения низкотемпературного стресса. Осенью (сентябрь-октябрь) оно приводило к заметному снижению фотохимии ФС 2 фотобионта. Уровень конверсии виолаксантинового цикла (ВКЦ) зимой был вдвое выше, чем летом, когда цикл функционирует на 20% своей потенциальной способности. Увеличение активности СОД, каталазы и пероксидазы весной и осенью способствовало поддержанию про/антиоксидантного баланса. Уровень дезоксидации пигментов ВКЦ и активность СОД возрастали при облучении талломов УФ (А+Б)—радиацией. В целом, полученные результаты существенно углубляют и расширяют представление об адаптивных реакциях и устойчивости пойкилогидрических фототрофов бореальной зоны.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (12-04-00554) и частично УрО РАН (12-С-4-1015).

## ОСОБЕННОСТИ ТРАНСЛОКАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «КОРЕНЬ-ЛИСТ» У ЦВЕТОЧНО-ДЕКОРАТИВНЫХ И ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Гришко В.Н.

*Криворожский ботанический сад Национальной академии наук Украины,*

*Кривой Рог, Украина*

*E-mail: vit.grishko@rambler.ru*

Использование растений для ремедиации почв позволяет в течение длительного времени снижать уровень загрязнения без использования масштабных технологических мероприятий. Учитывая, что виды существенно отличаются по фитоекстракционной способности, особенно актуальными являются исследования механизмов транслокации тяжелых металлов в растения, а также скрининг видов древесно-кустарниковых и цветочно-декоративных растений, которые могут использоваться для этих целей.

Для проведения таких сравнительных исследований в модельных экспериментах использовали *Rhus typhina* L., *R. typhina* f. *laciniata* (Wood.) Rehder., *Thuja plicata* D. Don., *T. occidentalis* f. *pyramidalis* L., *Pinus pallasiana* D. Don., *Picea abies* (L.) Karst., *Spiraea salicifolia* L., *S. menziesii* Hook., *Calendula officinalis* L., *Tagetes erecta* L., *Tithonia rotundifolia* (Mill.) S. F. Blake, *Zinnia elegans* Jacq., *Impatiens balsamina* L., *Penstemon cobea* Nutt., *P. venustus* Douglas ex Lindl., *P. digitalis* Nutt. Ex Sims, *P. arisonicus* A. Heller. *P. laevigatus* Soland, которые высаживали в контейнеры с черноземом обыкновенным. Тяжелые металлы вносили в концентрациях 5, 10, 20 ПДК (из расчета ПДК  $Ni^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  — 3,0;  $Zn^{2+}$  — 23,0;  $Pb^{2+}$  — 20,0 и  $Cd^{2+}$  — 4,0 мг/кг почвы) в виде водных растворов  $CdSO_4$ ,  $CuSO_4$ ,  $Ni(NO_3)_2$ ,  $ZnSO_4$  и  $Pb(NO_3)_2$  с недельным интервалом 4 раза. Количество тяжелых металлов определяли на атомно-адсорбционном спектрофотометре в корнях и листьях спустя две недели после последнего внесения токсикантов.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что процессы транслокации большинства тяжелых металлов в органы ассимиляции у древесно-кустарниковых растений в сравнении с цветочно-декоративными осуществляются менее интенсивно. Это может свидетельствовать о меньшей эффективности функционирования барьерных механизмов у последних. Показано, что цветочно-декоративные растения обладают высоким фитоекстракционным потенциалом и способны аккумулировать в вегетативных органах от 500 до 6400 мкг/г сухой массы свинца, кадмия, меди и цинка. Как правило, гипераккумуляция элементов у определенных видов обусловлена снижением интенсивности функционирования барьера «корень-лист». Об этом свидетельствуют низкие значения коэффициентов транслокации токсикантов из корневой системы в листья. Также отмечена металлоспецифичность функционирования этого барьера: вынос свинца, кадмия, цинка и никеля в надземные органы у цветочно-декоративных растений выше, чем у древесно-кустарниковых (значения коэффициентов внутритканевого загрязнения колебались от 49 до 280 и от 4,2 до 15,3 соответственно), тогда как меди — отличается менее существенно (30-82 и 5-19 соответственно).

**ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ  
К БИОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ В 30-КМ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

**Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М., Гуща Н.И., Дяченко А.И.**

*Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев*

*E-mail: dmyt@voliacable.com*

Комбинированное действие радиационного и биотического стресса на растения представляет потенциальную опасность для окружающей среды, по крайней мере, по двум причинам. Во-первых, малые дозы хронического облучения могут снижать иммунный потенциал, т.е. болезнеустойчивость растений. Во-вторых, они могут выступать в роли мутагенного фактора и вызывать усиление процессов расообразования у патогенных микроорганизмов, что приведет к возникновению новых вирулентных клонов.

Цель работы состояла в изучении влияния биотического стресса на растения и их патогены в 30-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС. Объектом исследований были выбраны растения пшеницы, ржи и кукурузы, а также возбудитель стеблевой ржавчины злаков гриб *Puccinia graminis* Pers., который относится к числу наиболее вредоносных патогенов.

Обнаружено, что хроническое облучение приводит к снижению болезнеустойчивости растений. Анализ естественной пораженности растений трех сортов пшеницы мучнистой росой или искусственно инфицированных бурой ржавчиной показал, что степень развития болезни у растений, выращенных из семян, собранных в зоне ЧАЭС, оказалась в 1.5–2.0 раза выше, чем у растений, выращенных из контрольных семян.

У растений, инфицированных спорами бурой ржавчины на различных участках в зоне ЧАЭС, отмечено усиление развития болезни у растений, выросших на участках с повышенным радиационным фоном. Анализ биохимической природы снижения устойчивости растений показал, что под влиянием малых доз облучения снижается удельная активность растительных ингибиторов протеиназ. Так, в зерне пшеницы и ржи их активность снижалась на 35–60% по сравнению с контролем. Уменьшение активности этих ингибиторов могло приводить к снижению иммунитета растений. Такое предположение подтвердилось в опытах с высоколизиновой *opaque*-мутантной формой кукурузы, которая обладает повышенной чувствительностью. Эту мутантную форму кукурузы, по аналогии с *waxy*-мутацией ячменя, можно рассматривать как перспективную тест-систему для оценки действия стрессовых факторов.

Возбудитель стеблевой ржавчины злаков *P. graminis* был выявлен нами на злаках и дикорастущих злаковых травах в зоне отчуждения. Полученные данные свидетельствуют об активных формо- и расообразовательных процессах в зоне ЧАЭС, в результате которых происходят изменения структуры популяции *P. graminis*. Обнаружена «новая» популяция возбудителя стеблевой ржавчины с высокой частотой встречаемости более вирулентных клонов по сравнению с другими регионами Украины.

**ЗАВИСИМОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ КРОВОХЛЕБКИ ЛЕКАРСТВЕННОЙ (*SANGUISORBA OFFICINALIS* L.) ОТ ФАЗЫ ВЕГЕТАЦИИ И ЭКОЛОГО-ЦЕНОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ.**

**Долотова Е.С., Ходарева Е.С., Бахтенко Е.Ю.**

*ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный педагогический университет»,*

*Вологда, Россия*

*E-mail: ekat\_dol@mail.ru*

Кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.) — ценное лекарственное растение, широко применяемое в официальной и народной медицине. Преобладающей группой действующих веществ являются соединения фенольной природы, одним из основных мест локализации которых являются подземные органы. Цель исследования состояла в изучении влияния эколого-ценотических факторов на динамику накопления фенольных соединений (общей суммы, флаванов, флавонолов) в растительном сырье кровохлебки лекарственной.

Материал собирали в Харовском районе Вологодской области в различные фазы вегетации в двух луговых ценопопуляциях, находящихся на разных элементах рельефа и отличающихся по уровню увлажнения. Ценопопуляция 1 (ЦП 1) — обыкновенноивьяниково-лекарственнокровохлебково-лугововасильковая расположена в прирусловой пойме, ценопопуляция 2 (ЦП 2) — лекарственнокровохлебково-обыкновенноманжетково-зонтично-ястребинковая расположена на надпойменной террасе. Определение содержания фенольных соединений (ФС) проводили методом спектрофотометрии.

Выявлены различия в накоплении ФС в подземных органах в зависимости от фазы вегетации. Минимальное количество ФС отмечено в фазы отрастания и бутонизации. В фазу плодоношения содержание ФС в подземных органах достигает максимума. Это возможно связано с их оттоком в виде растворимых фенолгликозидов из надземных органов. Преобладающей группой ФС являются флаваны, прежде всего простые мономерные катехины и их производные. Группа флавонолов представлена в меньшей степени. Содержание данных групп веществ изменяется аналогично общей сумме ФС. Полученные закономерности прослеживаются в обеих ценопопуляциях.

Установлены морфологические отличия и различия в содержании ФС в подземных органах растений из местообитаний, отличающихся по уровню увлажнения. Так растения кровохлебки, собранные в ЦП 2 (нормальное увлажнение) отличаются более мощным габитусом, увеличением числа, длины и массы корней и корневищ. Содержание общего количества ФС, флаванов, флавонолов более высокое по сравнению ЦП 1 (избыточное увлажнение). Данный факт может быть обусловлен угнетающим действием избытка влаги как на интенсивность фенольного метаболизма, так и ростовых процессов.

Исследование качественного и количественного состава, локализации и закономерностей накопления и расходования биологически активных соединений в зависимости от



факторов внешней среды необходимо учитывать для определения оптимальных сроков заготовки лекарственного сырья и введения в культуру кровохлебки лекарственной в условиях Европейского Севера.

### **УЧАСТИЕ ЗАЩИТНЫХ БЕЛКОВ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ (*HORDEUM VULGARE* L.) К СОВМЕСТНОМУ ДЕЙСТВИЮ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ИЗБЫТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ**

**Дремук И.А.**

*Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*E-mail: irinadremuk@yandex.ru*

В период своего развития растения находятся под влиянием различных стрессовых факторов. Такие факторы внешней среды, как низкая температура (НТ) и избыточное увлажнение (ИУ) оказывают отрицательное воздействие на рост и развитие растений и приводят к значительному снижению их продуктивности. Важную роль в адаптации растений к абиотическим стрессорам играют защитные (стрессовые) белки, предотвращающие развитие в клетках окислительных процессов. В данной работе изучено накопление активных форм кислорода (АФК), продуктов ПОЛ, дегидринов, а также изменение уровня экспрессии генов АТФ/АДФ-антипортера и альтернативной оксидазы (АО) в проростках ячменя при совместном действии НТ и ИУ. Объектом исследования служили зеленые проростки ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Гонар, выращенные при температуре +23°C ( $\pm 2^\circ$  C) в режиме 14 ч света интенсивностью 150 мкмоль квантов/ (м<sup>2</sup>·с) и 10 ч темноты. Для моделирования совместного действия НТ и ИУ 5-дневные растения ячменя на 3-е суток помещали в холодильную камеру с температурой +4°C (стрессовый период) и указанным выше фотопериодом и заливали водой до середины колеоптиля, после чего растения возвращали на 3-е суток в нормальные условия выращивания (постстрессовый период). Пробы для исследования брали через 1 и 3 суток после начала действия стрессоров, а также через 3 суток после прекращения воздействия стрессовых факторов. Контролем служили растения ячменя, выращенные в нормальных условиях. В качестве дополнительных контролей использовали растения, находившиеся в условиях НТ (+4°C) с нормальным водоснабжением, а также растения, находившиеся в условиях ИУ при температуре +23°C. Показано, что при действии НТ+ИУ происходит увеличение содержания АФК, наблюдается интенсификация процессов ПОЛ, резко возрастает уровень белков дегидринов что обусловлено преимущественно влиянием НТ. В условиях совместного действия НТ и ИУ, а также их раздельного воздействия разнонаправлено изменяется уровень экспрессии генов *ANT* и *AOX*, кодирующих защитные белки— АТФ/АДФ-антипортер и АО соответственно. При этом увеличение уровня экспрессии гена *ANT* при действии НТ+ИУ обусловлено влиянием НТ, в то время как снижение в данных условиях уровня экспрессии гена *AOX* по сравнению с контролем связано с действием ИУ.

**СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПИГМЕНТ-БЕЛКОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ФОТОСИСТЕМ  
В ЛИСТЯХ ЗИМНЕ-ЗЕЛЕННОГО ВИДА ЖИВУЧКИ ПОЛЗУЧЕЙ (*AJUGA REPTANS* L.)**

**Дымова О.В.<sup>1</sup>, Христин М.С.<sup>2</sup>, Латовски Д.<sup>3</sup>, Головки Т.К.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

E-mail: [dymova.o@ib.komisc.ru](mailto:dymova.o@ib.komisc.ru)

<sup>2</sup> ФГБУН Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пушкино  
Московской области, Россия

<sup>3</sup> Ягеллонский университет им. Я.Журжиского, Краков, Польша

В сезонном климате фотосинтетический аппарат (ФСА) вечно- и летне-зеленых растений претерпевает существенные структурные перестройки и функциональные изменения, обусловленные адаптацией к неблагоприятному периоду года. Наиболее полно эти процессы исследованы у древесных хвойных видов. Сведения, касающиеся травянистых растений, зимующих под снежным покровом, практически отсутствуют. Целью работы было выявить, какие изменения происходят в пигмент-белковых комплексах (ПБК) фотосистем хлоропластов листьев живучки ползучей в разные сезоны года, чтобы обеспечить сохранность и функционирование ФСА при изменении условий среды. В летний период (конец июня — начало августа) в спектрах низкотемпературной (77К) флуоресценции хлоропластов летне-зеленых листьев при возбуждении 435 нм (поглощение Хл *a*) выявлено 3 максимума: при 685 нм (ПБК CP43), 695 нм (ПБК CP46) и 735 нм (ФС I). Результаты центрифугирования в градиенте плотности сахарозы и ПААГ электрофореза смеси ПБК показали, что зоны в геле были разделены на фракции свободных пигментов (преимущественно Хл *a*), мономеры и тримеры ССКII ФСII, ФСI, мега комплекс ФСI+ФСII+ССКII. В осенний период (конец ноября) в хлоропластах листьев был отмечен распад мега комплекса на димер ССКII и мономер ФСI. С установлением к середине декабря отрицательных температур в хлоропластах листьев происходили разрушение хлорофиллов (на 25–30%), конверсия виолаксантина в зеаксантин, и последующая диссоциация крупных агрегатов ПБК на мономерные комплексы. Обнаружена полоса, предположительно указывающая на наличие хлорофилл-связывающего белка PsbS (22кДа-белок ФСII), который может участвовать в нефотохимическом тушении. Хлоропласты перезимовавших листьев, способных к фотосинтезу, содержали сохранившиеся хлорофиллы и каротиноиды, и мономер ССКII ФСII. Показано функционирование зеаксантин-зависимого защитного механизма, что важно для сохранения ФСА в ранневесенний период при сочетании низкой температуры и высокой инсоляции.

Таким образом, сохранение функциональной активности ФСА зимне-зеленых листьев живучки ползучей обусловлено диссоциацией мега-комплексов ФСI, ФСII и связанного с ним комплекса ССКII, и их последующей сборкой в ранневесенний период, когда биосинтез новых компонентов еще не происходит, либо не успевает сформироваться ПБК из вновь синтезированных компонентов.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 07-04-00436 и 12-04-00554.

**ЗНАЧЕНИЕ ДИ- И ПОЛИАМИНОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К НЕДОСТАТКУ КИСЛОРОДА И ПОСЛЕДУЮЩЕМУ ОКИСЛИТЕЛЬНОМУ СТРЕССУ****Емельянов В.В., Ма Г., Ласточкин В.В., Чиркова Т.В.***Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия**E-mail: bootika@mail.ru*

Исследования последних лет свидетельствуют о том, что диамин путресцин и полиамины спермидин и спермин вовлечены в регуляцию многих процессов роста и развития растений, включая деление клеток, дифференцировку сосудов, индукцию корнеобразования, инициацию цветения, созревание плодов, процессы старения, формирования эмбрионов в культуре ткани и т.д. Столь широкий спектр физиологической активности позволяет предположить, что существует прямое и/или опосредованное взаимовлияние гормонов и полиаминов друг на друга.

В данной работе изучалось действие полиаминов на жизнеспособность растений после анаэробного воздействия с помощью 2х методов: определения выхода электролитов из растительных тканей и теста по восстановлению солей тетразолия. Уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ)— критерий деструктивных процессов в мембранах растительной клетки— устанавливали по содержанию ТБК-реактивных продуктов, в пересчете на малоновый диальдегид. Содержание эндогенных ди- и полиаминов оценивали с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии обработки полиаминами на жизнеспособность проростков неустойчивого к недостатку кислорода растения пшеницы. Эффект полиаминов на проростки устойчивого риса выражен в меньшей степени.

Аноксия и последующая реэрация в значительно большей степени стимулировали ПОЛ, чем действие одной только аноксии. Обработка экзогенными полиаминами снижала интенсивность ПОЛ у обоих растений, причём в большей степени— у пшеницы.

Не обнаружено существенных отличий в дострессовом содержании эндогенных полиаминов у изучаемых растений. Действие аноксии и последующей реэрации приводило к значительному накоплению диаминов (путресцина, кадаверина и диаминопропана) в проростках пшеницы, тогда как в проростках риса аккумулировались преимущественно полиамины (спермин и спермидин). Диаминопропан появлялся в тканях растений только в условиях стрессорного воздействия. Обнаруженные изменения уровня полиаминов были более выражены в побегах, чем в корнях растений и у пшеницы проявлялись сильнее, чем у риса. Обсуждаются причины различий в значении ди- и полиаминов для опытных растений.

Работа поддержана РФФИ 12-04-01029-а.

**СВЯЗЬ МЕЖДУ ГОМЕЗИСОМ И ПАРАДОКСАЛЬНЫМИ ЭФФЕКТАМИ  
ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОЛЛЮТАНТОВ НА РАСТЕНИЯ****Ерофеева Е.А.***Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,**Нижний Новгород, Россия**E-mail: ele77785674@yandex.ru*

В последние годы в области токсикологии накапливается все больше свидетельств о том, что кроме классических монотонных зависимостей «доза-эффект» (S-образных; экспоненциальных), достаточно часто встречаются немонотонные ответы, при которых происходит изменение направления отклика биосистемы при возрастании силы действующего фактора. К таким зависимостям, в частности, относятся гормезис и парадоксальные эффекты. Гормезис — стимулирующее влияние на биологические объекты слабых воздействий различных химических и физических агентов, повреждающих при больших дозах. Известно, что проявление парадоксальных эффектов сводится к следующему: по мере уменьшения дозы или концентрации воздействующего яда токсичность его увеличивается, и наоборот: при увеличении дозы — эффект уменьшается. В последние годы изучению немонотонных зависимостей особенно пристальное внимание уделяется за рубежом, где создаются научные общества по данной тематике (International Dose-Response Society: [www.dose-response.org](http://www.dose-response.org)), базы данных по немонотонным ответам у микроорганизмов, животных и растений. Как правило, гормезис и парадоксальные эффекты рассматриваются в качестве независимых явлений. В условиях эксперимента нами были изучены закономерности зависимости доза-эффект при хроническом воздействии поллютантов различной химической природы в широком диапазоне концентраций от сублетальных значений до  $10^2$ - $10^5$  раз меньших на некоторые физиолого-биохимические показатели семидневных проростков *Triticum aestivum* L. При этом для ряда многофазных зависимостей доза-эффект гормезис и парадоксальные эффекты наблюдались на разных участках одной и той же кривой. Например, подобное явление обнаружено при действии формальдегида на интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) и содержание каротиноидов в первом листе проростков, меди и гербицида глифосата — на длину корневой системы, хлорида натрия — на интенсивность ПОЛ. Более того, иногда было достаточно сложно провести четкую границу между гормезисом и парадоксальным эффектом в пределах одной кривой, поскольку одни и те же участки графика могли являться частями обоих типов немонотонных зависимостей. Полученные данные указывают на связь между гормезисом и парадоксальными эффектами. По-видимому, разделение немонотонных зависимостей на два выше упомянутые типа является достаточно условным, поскольку они могут являться частями одной и той же более сложной многофазной зависимости, имеющей квазиколебательный характер.

**СВЯЗАННЫЕ С КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКОЙ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ФОРМЫ В-ГЛЮКОЗИДАЗЫ РАСТЕНИЙ ГОРОХА: АКТИВНОСТЬ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ВЛИЯНИЕ ГИПОКСИЧЕСКОГО СТРЕССА**

**Ершова А.Н., Фатуллаева А.С.**

*ФГОУ ВПО «Воронежский государственный педагогический университет»,*

*Воронеж, Россия*

*E-mail: aershova51@mail.ru*

$\beta$ -Глюкозидаза (КФ 3.2.1.21), катализирует гидролиз  $\beta$ -гликозидной связи в  $\beta$ -D-арил- и алкилглюкопиранозидах и играет важную роль в обменных процессах клетки, поставляя эндогенную глюкозу для процессов дыхательного обмена. В проростках гороха, также как и в других высших растениях, наряду с цитоплазматической  $\beta$ -глюкозидазой были обнаружены ионосвязанная и адсорбированная на клеточной стенке формы фермента, различающиеся по ряду физико-химических свойств. Изучали активность и свойства связанных с клеточной стенкой  $\beta$ -глюкозидаз растений гороха, которые подвергались действию дефицита кислорода и высоких концентраций  $\text{CO}_2$  (24 ч). С использованием методов дифференциального центрифугирования, высаливания сульфатом аммония и гель-хроматографии на G-25 и G-100 были получены электрофоретически гомогенные ферментные препараты адсорбированной формы с удельной активностью 303,1 Е /мг белка и ионосвязанной формы — 451,7 Е /мг белка и изучены их активность и физико-химические свойства. При нормальной аэрации растений обе молекулярные формы  $\beta$ -глюкозидазы с наибольшей скоростью расщепляли изосукцинимид- $\beta$ -гликозиду ( $K_m$  0,32 и 0,93) и р-НФГ ( $K_m$  0,45 и 1,03). Меньшее сродство, они проявляли к УДФ-глюкозе,  $\beta$ -гентиобиозе и салицину и не расщепляли галактопиранозиды с  $\alpha$ - и  $\beta$ -связями. При действии гипоксии повышалась активность обеих форм фермент к  $\beta$ -гентиобиозе, целлобиозе и, особенно салицину, что отражалось на изменении кинетических параметров таких как  $K_m$  и  $V_{max}$  к данным субстратам. При действии  $\text{CO}_2$ -среды на растения увеличивалось сродство связанных с клеточной стенкой  $\beta$ -глюкозидаз ко всем субстратам, включая и УДФ-глюкозу. В условиях гипоксического стресса и высоких концентрации  $\text{CO}_2$  у растений отмечалось не только увеличение активности, но и стабильности обеих молекулярных форм  $\beta$ -глюкозидазы по отношению к пероксиду водорода, как одному из наиболее стабильных форм АФК. Одновременно отмечался и сдвиг оптимума рН для адсорбированной формы с 4,8 до 4,6, а для ионосвязанной с 4,6 до 4,3. Полученные результаты свидетельствуют о существенных изменениях физико-химических свойств обеих молекулярных форм  $\beta$ -глюкозидазы у растений при действии гипоксии и  $\text{CO}_2$ -среды. Можно предположить, что повышение активности связанных с клеточной стенкой  $\beta$ -глюкозидаз растений гороха в этих условиях может значительно увеличивать содержание свободной глюкозы, необходимой для дыхательного обмена растений в условиях дефицита кислорода.

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ЭПИБРАССИНОЛИДА  
У РАСТЕНИЙ РАПСА ПРИ ЗАСОЛЕНИИ****Ефимова М.В.<sup>1</sup>, Хасан Ж.<sup>2</sup>, Хрипач В.А.<sup>3</sup>, Холодова В.П.<sup>4</sup>, Кузнецов Вл.В.<sup>4</sup>**<sup>1</sup>*Томский государственный университет, Томск, Россия*<sup>2</sup>*Российский университет дружбы народов, Москва, Россия*<sup>3</sup>*Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*<sup>4</sup>*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия**E-mail: stevmv555@gmail.com*

Большинство сельскохозяйственных угодий России находится в зоне рискованного земледелия с суровыми климатическими условиями. Изучение механизмов устойчивости растений к повреждающему действию абиотических факторов имеет важное значение для сохранения продуктивности агроценозов и является одной из фундаментальных проблем современной биологии. К весьма перспективным способам защиты растений от хлоридного засоления может быть отнесена их обработка фитогормонами. Вместе с тем, механизмы стресс-протекторного действия стероидных фитогормонов, в отличие от других классов гормонов — этилена и абсцизовой кислоты — остаются в настоящее время практически не изученными.

Исследования проведены на растениях *Brassica napus* L. сорта Вестар, выращенных в условиях гидропоники. Растения рапса в возрасте 20 дней подвергали 2-недельному интенсивному засолению (175 мМ NaCl), часть которых была обработана раствором эпибрасинолида (0,1 нМ).

Показано, что интенсивное засоление вызывало значительное снижение интенсивности роста растений, содержания фотосинтетических пигментов, уровней оводненности тканей и осмотического потенциала, одновременно увеличивая содержание пролина и малонового диальдегида (МДА). Обработка растений экзогенным 24-эпибрасинолидом способствовала снижению негативной нагрузки засоления на ростовые показатели растений. Рост стебля полностью восстанавливался, ассимилирующая поверхность рапса увеличивалась примерно до 60–70% от контрольной, сырая и сухая масса доходили до 90–95% от контроля. Способность эпибрасинолида снимать негативное воздействие засоления проявлялось и на уровне физиологических показателей. Экзогенный гормон частично снимал вызванное солью падение осмотического потенциала содержимого клеток, восстанавливал содержание фотосинтетических пигментов, снижал уровень МДА и увеличивал концентрацию фенольных соединений, проявляющих антиоксидантный эффект.

Таким образом, нами показано, что экзогенный эпибрасинолид при интенсивном засолении в значительной мере стабилизировал некоторые физиологические показатели — содержание фотосинтетических пигментов, пролина, растворимых фенолов и уровень осмотического потенциала. Наблюдаемые изменения, в конечном итоге, способствовали снижению отрицательного влияния засоления на фотосинтетический аппарат и рост растений.

Исследования поддержаны грантом РФФИ (проект № 12-04-90019-Бел\_а).

**ДИНАМИКА АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ, ВИТАМИНОВ И ДРУГИХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЛИСТЬЯХ МАНЖЕТКИ ГОРОДКОВАТОЙ В ТЕЧЕНИЕ СУТОК**

**Живетьев М.А., Граскова И.А., Дударева Л.В., Войников В.К.**

*УРАН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия*

*E-mail: nik.19@mail.ru*

Предбайкалье характеризуется суровыми температурными условиями произрастания растений, в связи с чем было актуально изучать процессы адаптации травянистых растений к гипотермии на побережье озера Байкал. Особенно сильно растения Прибайкалья подвергаются гипотермии в октябре месяце, в том числе за счет сильных перепадов температур в течение суток, достигающих 15–20°С. Манжетки являются важным лекарственным сырьем и активно используются не только в народной медицине, но и фармацевтике. Нами показана динамичность активности пероксидазы, насыщенности жирных кислот, ряда витаминов и биологически активных веществ в листьях манжетки городковатой в течение суток, что может иметь значение как на практике в фармацевтике, так и в фундаментальной науке. Большинство изменений в течение суток по-видимому носят адаптивный характер и связаны с приспособлением метаболизма растений в разных условиях освещенности и температуры. В частности, выявлено сильное повышение содержания витамина С в листьях этого растения в ночные часы, что может быть связано с необходимостью адаптироваться к ночной гипотермии. Содержание витамина В<sub>6</sub> было минимально в 9 утра, а максимально в 24 ч. Наоборот, Витамин РР демонстрировал повышение содержания в 9 и 15 часов, но был минимальным в остальное время. Флавоноиды и фенольные соединения, играющие важную роль в устойчивости растений как к абиотическому, так и биотическому стрессу, обладающих выраженной биологической активностью и служащими одним из основных субстратов пероксидазы, повышали свое содержание с восьми вечера до девяти утра с максимумом в шесть часов. Насыщенность жирных кислот находилась также в строгой корреляции с суточной температурой воздуха. Изучена активность amino-ацильных десатураз в течение суток, и выявлен выраженный пик активности ω<sup>9</sup>-десатуразы в 24 часа. Активность ω<sup>3</sup>-десатуразы возрастала в холодное время суток, но была минимальна в 9 часов утра, когда наблюдаются самые критические температуры воздуха (суточный минимум температуры). Содержание растворимых углеводов, выполняющих криопротекторную функцию, было максимально в полночь, что выполняет как адаптивную функцию в условиях ночной гипотермии, так и служит отражением физиологических изменений, связанных, в том числе, и с интенсивностью фотосинтеза. Таким образом, на примере манжетки городковатой показана адаптация растительного метаболизма при смене дневных положительных температур на ночные отрицательные.



**ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ  
В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ**

**Живетьев М.А., Турская А.Л., Дударева Л.В., Маркова Ю.А.,  
Граскова И.А., Войников В.К.**

*УРАН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия  
E-mail: nik.19@mail.ru*

Предбайкалье характеризуется суровыми температурными условиями произрастания растений, в связи с чем было актуально сравнить процессы адаптации травянистых растений к гипотермии на побережье озера Байкал и на некотором отдалении от озера — в городе Иркутске. Изучена активность пероксидаз пяти видов растений с учетом температурных условий мест произрастания — в г. Иркутск и на побережье оз. Байкал. Наблюдали два пика активности пероксидаз — летом и осенью. Осенний пик у растений города Иркутск был смещен на начало октября, а на Байкале он приходился на конец октября. В Иркутске в конце октября происходило уменьшение активности фермента у всех изучаемых видов растений. Изучены дегидрины в пробах растений, отобранных в начале августа и в середине октября. Отмечено усиление синтеза дегидринов к середине октября по сравнению с началом августа. Также синтез дегидринов наблюдали в летние месяцы при обезвоживании в жаркую погоду. Предположена взаимосвязь активности пероксидазы и содержания в клетке дегидринов. Для одуванчика лекарственного и тысячелистника азатского отмечены более высокие значения активности пероксидазы в тканях листьев, по сравнению с другими изучаемыми видами. У этих видов содержание дегидринов было прямопропорционально активности пероксидазы в предшествующие 1-15 дней в летние месяцы и осенью. Изучение растворимых углеводов показало, что с наступлением осенних холодов происходило накопление низкомолекулярных углеводов в тканях растений. На побережье Байкала этот процесс шел интенсивнее. Изучение жирнокислотного состава показало более высокую насыщенность мембранных липидов у растений, произрастающих на побережье озера Байкал по сравнению с Иркутском. Из тканей исследованных растений было выделено 16 культур эндофитных бактерий рода *Pseudomonas*. Была исследована их способность выделять в безуглеводную культуральную среду растворимые сахара, что может способствовать адаптации растений-хозяев к гипотермии. Нами была показана такая способность у ряда культур, выделенных из подорожника, тысячелистника, вероники, манжетки. Культура, выделенная из подорожника большого, продемонстрировала трехкратное увеличение накопления сахаров в среде культивирования. Эта же культура стимулировала рост побегов растения в опытах на фитотоксичность. Не исключено, что относительно высокая способность этой культуры секретировать сахара полезна для растения и этот эндофит может способствовать адаптации растения-хозяина.

**КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ  
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ  
НА ФОНЕ ЗАСОЛЕНИЯ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА ИВИНА И 6-БАП**

**Жижина М.Н., Кабузенко С.Н.**

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина*

*E-mail: zhizhina-biol@ukr.net*

Засоление является фактором, лимитирующим продуктивность сельскохозяйственных культур. В целях повышения продуктивности и солеустойчивости культурных растений применяются регуляторы роста, способствующие адаптации растений к солевому стрессу. К таким препаратам относятся синтетические регуляторы роста 6-БАП и ивин (2,6-диметилпиридин-N-оксид), физиологические механизмы действия которых в последнее время активно изучаются.

В целостном растительном организме морфофизиологические корреляции осуществляются через постоянную координацию ростовой и фотосинтетической функций. Действие экзогенных регуляторов роста на ростовые процессы на фоне неблагоприятных факторов среды может быть основано как на прямом влиянии на реакции фотосинтеза через активность ферментов, так и на аттракции ассимилятов к точкам роста растений.

Поэтому целью нашей работы явилось изучение корреляционной зависимости между фотосинтетической активностью и биологической продуктивностью на фоне засоления и влияния стимуляторов роста ивина и 6-БАП. Объектами исследования были взяты 21-дневные растения кукурузы (*Zea mais L.*) сорта Одесская 10 и ячменя (*Hordeum vulgare L.*) сорта Сталкер, широко районированные в Крыму.

Наиболее тесная корреляционная зависимость ( $r=0,99$ ) была установлена между восстановительной активностью хлоропластов и содержанием сухого вещества в листьях растений кукурузы и ячменя. Это предполагает, что при влиянии синтетических регуляторов роста на фоне засоления наблюдается сбалансированность между фотосинтетическими и ростовыми процессами, обуславливающими продуктивность растений.

У растений кукурузы ( $r=0,84$ ) и ячменя ( $r=0,91$ ) корреляционная зависимость выявлена между показателями чистой продуктивности фотосинтеза и содержанием сухого вещества растений на фоне засоления и регуляторов роста. Это свидетельствует о том, что 6-БАП и ивин на фоне засоления оказывают существенное влияние непосредственно на процессы фотосинтеза, чем на отток ассимилятов в растущие органы, особенно это выражено у растений ячменя. Также существенно возросла корреляционная зависимость между показателями ЧПФ и восстановительной активности хлоропластов. Коэффициент корреляции был наибольшим у растений ячменя, и составил 0,91, что показывает зависимость процессов утилизации ассимилятов в ростовых процессах.

Таким образом, полученные данные корреляционного анализа свидетельствуют о связи изменений фотосинтетической активности с биологической продуктивностью на фоне засоления и действия регуляторов роста.

### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ИЗУЧЕНИИ ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ СЕМ. FABACEAE LINDL. ЮЖНОЙ СИБИРИ ПО АКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ ТРИПСИНА**

**Жмудь Е.В., Дорогина О.В.**

*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, г. Новосибирск, Россия*

*E-mail: elenazhmu@ngs.ru*

Известно, что устойчивость растений обусловлена взаимодействием не менее 14 факторов иммунитета. Система неспецифической приобретенной устойчивости представлена, в частности, PR-6-белками (pathogenesis-related proteins). При воздействии био-или абиотических стрессовых факторов в растениях индуцируется синтез этих белков, которые являются ингибиторами протеиназ (ИП). Защита от патогенов и вредителей обеспечивается связыванием молекулы ИП растения с молекулой их трипсиноподобных протеиназ. К ИП относятся ингибиторы трипсина (ИТ), наиболее активные в высокобелковых бобовых растениях. ИТ связывают трипсин в организме человека и животных при употреблении их в пищу или в кормах с образованием неактивного комплекса, белок при этом не усваивается, поэтому высокая активность ингибиторов трипсина (АИТ) снижает их питательную ценность. ИТ в растениях также играют запасающую роль и регулируют работу эндогенных протеиназ. Многие исследования посвящены выделению ИТ, изучению структуры и функций в культурных растениях. Не изучена АИТ в перспективных дикорастущих кормовых и лекарственных бобовых растениях.

Цель работы—проведение сравнительного анализа АИТ в природных популяциях у бобовых растений родов *Astragalus* и *Hedysarum* в разных экологических условиях Южной Сибири. Это позволит выявить адаптивную роль признака и перспективные формы для практического использования.

Исследования проводились с использованием синтетического субстрата БАПА и кристаллического трипсина из поджелудочной железы свиньи (ISN-Biomedical, США).

При изучении надземной части 15 видов бобовых растений (120 популяций) выявлено, что в листьях растений рода *Astragalus* L. средняя величина АИТ была низкой и не превышала 4 мг/г (мг инактивированного трипсина на 1 г сухого веса муки листьев). В листьях рода *Hedysarum* L. АИТ была выше и достигала, в некоторых случаях, величины АИТ в семенах сои (100-250 мг/г). При удалении листьев, например, у растений *Hedysarum theinum* Krasnob., АИТ в первые 5 минут возрастала почти в 2 раза, через 15 мин возвращаясь на уровень, близкий к начальному. Реакция каждой особи на механические повреждения была индивидуальна.

Анализ изменчивости АИТ методом главных компонент у 3 видов (*A. austrosibiricus* Schischkin (n=240), *A. propinquus* Schischkin (n=170), *H. gmelini*, Ledeb. (n=420)), собранных в 2001-2012 годах в Горном Алтае, Бурятии и Иркутской области, показал, что изменчивость АИТ достоверно зависела от метеоусловий года и абсолютной высоты над уровнем моря (н. ур. м.). Так, изменчивость АИТ зависела от метеоусловий разных лет наблюдений на 15-30%, а от разницы абсолютных высот н. ур. м.—на 20-30%. Вероятно, изменчивость АИТ в изученных бобовых растениях более чем наполовину генетически обусловлена или зависит от других факторов. При использовании бобовых растений необходимо проводить исследование АИТ или применять отборные формы.

### СПЕЦИФИКА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ОВСА НА ДЕЙСТВИЕ ЗАСУХИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГЕНОТИПА

Зейслер Н.А., Бахтенко Е.Ю.

ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный педагогический университет»,  
кафедра ботаники, г. Вологда, РФ  
E-mail: zejsler@ya.ru

Цель настоящей работы состояла в исследовании физиологических реакций (темпов роста, продуктивности, водного обмена, содержания фитогормонов) видов рода *Avena* на засуху на ранних стадиях онтогенеза. Объектами изучения являлись образцы видов рода *Avena* из коллекции ГНЦ РФ ВНИИР им. Н.И. Вавилова: *A. sativa* L. var. *aurea* сорт *Borrus* (2n=42), *A. byzantina* C. Koch. сорт *Hill* (2n=42), *A. fatua* L. (2n=42)—сорно-полевой, дикорастущий, *A. strigosa* Schreb. var. *typica* (2n=14)—культурный (засоряющий посеvy). Растения выращивали в условиях вегетационного опыта методом почвенных культур. Почвенную засуху создавали путем прекращения полива на 11-е сутки после появления всходов и поддерживали в течение 5 суток. Влажность почвы при этом постепенно снижалась с 70% до 30% ПВ. На 5-е сутки засухи изучали морфометрические показатели (сухую массу побега и коревой системы, прирост листа третьего яруса), показатели водного обмена: интенсивность эвапотранспирации, продуктивность транспирации, транспирационный коэффициент, водоудерживающую способность, оводненность побега и корневой системы, определяли содержание свободных форм АБК, ИУК, зеатина, зеатинрибозида с помощью иммуноферментного метода анализа.

Под действием засухи у видов рода *Avena* снижались морфометрические показатели, оводненность побега и корневой системы, интенсивность эвапотранспирации, транспирационный коэффициент, возрастала водоудерживающая способность и продуктивность транспирации. Изменения процессов роста и параметров водного обмена наблюдалось на фоне увеличения содержания АБК, снижения ауксинов и цитокининов. Проявились и видоспецифические реакции. Сорт *Borrus* (*A. sativa*) отличался большей зерновой продуктивностью по сравнению с другими образцами и меньшей устойчивостью к засухе, что проявилось в торможении ростовых процессов, снижении уровня водного обмена, значи-

тельном и более продолжительном изменении гормонального статуса. У *A. strigosa* показатели водного обмена снижались в большей степени по сравнению с остальными видами. При этом темпы роста изменялись незначительно. Вероятно, данный вид характеризуется большей устойчивостью к почвенной засухе.

Возможно, изменение физиолого-биохимических параметров у видов рода *Avena* можно рассматривать, как проявление разных стратегий поведения в условиях почвенной засухи.

## ВОЗМОЖНОЕ УЧАСТИЕ ТРАНСПОРТЕРОВ РЯДА СЕМЕЙСТВ В ДЕТОКСИКАЦИИ ИЗБЫТКА ИОНОВ МЕДИ РАСТЕНИЯМИ РАПСА

Злобин И.Е., Холодова В.П.

*Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва*

*E-mail: ilya.zlobin.90@mail.ru*

Мембранный перенос ионов меди осуществляется транспортерами практически всех известных к настоящему времени семейств. Задача первого этапа настоящей работы состояла в том, чтобы установить на уровне mRNA начальную ответную реакцию генов семейств P1b-ATPase, NRAMP и ZIP у растений рапса (*Brassica napus* L.) на сильное повышение содержания  $\text{CuSO}_4$  в питательной среде. Для исследования были отобраны гены *HMA5*, *Nramp4.1* и *ZIP2*, о которых имеются данные о Cu-зависимости их активности.

Растения рапса, росшие в течение 3 недель на стандартной среде с 0,25 мкМ  $\text{CuSO}_4$  или без внесения Cu в среду, подвергали воздействию 50 мкМ  $\text{CuSO}_4$ , начиная с 3 и до 72 часов роста на среде с избытком Cu. Из проб корней и листьев среднего яруса опытных и контрольных растений выделяли RNA и с помощью полуколичественной ОТ-ПЦР оценивали интенсивность экспрессии изучаемых генов.

В контрольном варианте на среде со стандартным содержанием Cu экспрессия генов *HMA5* и *Nramp4.1* постоянно проявлялась как в корнях, так и в листьях, причем уровень mRNA был приблизительно одинаковым в течение всего опыта. Напротив, экспрессия гена *ZIP2* как в этом, так и во всех других исследованных вариантах не была обнаружена.

Внесение 50 мкМ  $\text{CuSO}_4$  в среду со стандартным ее содержанием вызывало в корнях быструю активацию экспрессии гена *HMA5*, что проявлялось в резком увеличении уровня mRNA при 3х-часовой экспозиции на избытке Cu. В отличие от корней, в листьях активация экспрессии гена *HMA5* в ходе опыта была очень слабо выражена. Экспрессия гена *Nramp4.1* в корнях под воздействием 50 мкМ также повышалась уже через 3 часа воздействия избытка Cu, но максимальная активность обнаруживалась при 24-часовом росте в этих условиях. В листьях максимальный уровень экспрессии *Nramp4.1* приходился на 72 часа воздействия избытка Cu.

Перенос растений рапса, выращенных на среде без внесения Cu, на 50 мкМ  $\text{CuSO}_4$  приводил в начале воздействия к резкому возрастанию экспрессии гена *HMA5* и в корнях

и в листьях с последующим снижением активности. Экспрессия гена *Nramp4.1* в корнях сильно повышалась в течение всего опыта, в листьях активация этого гена несколько запаздывала.

Таким образом, на уровне mRNA установлена сильная зависимость уровня экспрессии генов *HMA5* и *Nramp4.1* при избытке Cu в среде, в изученных условиях активности гена *ZIP2* не было обнаружено.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-04-01001.

## РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ ГИДРОЛАЗ В ТКАНЯХ ПШЕНИЦЫ И КАРТОФЕЛЯ ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ ГРИБНЫМИ ПАТОГЕНАМИ

Ибрагимов Р.И., Шпирная И.А., Яруллина Л.М., Умаров И.А., Новоселова Е.И.

Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

E-mail: Lilechek89\_89@mail.ru

Одним из факторов агрессивности и патогенности возбудителей болезней сельскохозяйственных растений являются гидролитические ферменты. К важной составляющей защитного ответа растений относят образование соединений, подавляющих ферментативную активность патогенов. Индукция защитного ответа в растениях против патогенов осуществляется с помощью различных сигнальных систем. Известными их медиаторами являются салициловая (СК) и жасмоновая (ЖК) кислоты. Исследование ферментативных процессов, происходящих в растительных клетках при обработке сигнальными молекулами на фоне заражения патогенными микроорганизмами, представляет научный и практический интерес, поскольку они обладают биологической активностью в очень низких концентрациях.

Исследования проводили на листьях мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Башкирская 24 и клубнях картофеля *Solanum tuberosum* сорта Ранняя роза. Ломтики картофеля и семена пшеницы предобработывали (3 ч) растворами  $10^{-6}$  М СК и  $10^{-7}$  М ЖК. Часть ломтиков картофеля инокулировали ( $10^5$  спор/мл) возбудителем фитофтороза *Ph. infestans*. Листья пшеницы, выращенные из предобработанных семян заражали возбудителем септориоза *S. nodorum*.

При поражении пшеницы *S. nodorum* происходит изменение уровня активности гидролитических ферментов и ингибиторов протеиназ в листьях. В частности, в тканях снижается уровень активности как гидролитических ферментов (амилаз, протеиназ), так и активность их ингибиторов. Предобработка семян пшеницы СК и ЖК существенно не влияет на уровень гидролитической и антипротеиназной активности в листьях незараженных растений. Тогда как инфицирование растений, предобработанных СК и ЖК, приводит к повышению активности ингибиторов протеиназ в листьях. Изменения в активности протеиназ, амилаз, и их ингибиторов имеют место также при заражении картофеля *Ph. infestans* на фоне обработки СК и ЖК. Причем, активность протеолитических, амилитических

ферментов, а также их ингибиторов изменяется как при заражении фитофторой, так и под воздействием обработки клубней индукторами устойчивости. Так, в зараженных клубнях уже через 48 ч происходит повышение протеолитической активности, и снижение активности ингибиторов протеиназ. Однако через 96 ч после инфицирования активность ингибиторов протеиназ в тканях картофеля во всех вариантах опыта становилась выше, чем в контроле. Вероятно, изменение уровня антиферментной активности представляет важную составляющую адаптационных механизмов растительного организма, в частности, при инфицировании патогенными организмами.

Работа проведена при финансовой поддержке гранта РФФИ\_поволжье\_а № 11-04-97037.

### **СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВОДНОГО И СОЛЕВОГО СТРЕССОВ НА ЛИСТЬЯ ПШЕНИЦЫ РАЗНОГО ВОЗРАСТА**

**Иванов А.А.**

*Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук,  
г. Пуцзино, Россия  
E-mail: demfarm@mail.ru*

Исследовали активность фотосинтетического аппарата, водный обмен и накопление пролина в закончивших рост и активно растущих листьях 10-дневных проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях совместного действия засухи и засоления. При низких концентрациях (0.05–0.10 М) NaCl в субстрате увеличивалось время жизни проростков пшеницы в условиях развивающейся засухи без серьезных изменений фотосинтетической активности. Восстановление тканей после прекращения засухи наблюдали только у молодых листьев при низких концентрациях NaCl. Количество накапливаемого пролина в клетках листьев прямо зависело от концентрации соли в субстрате и уменьшалось с возобновлением полива. При высоких концентрациях (0.2–0.4 М) NaCl в субстрате происходило быстрое уменьшение фотосинтетической активности и оводненности листьев. Во всех вариантах активно растущие листья были более устойчивы к действию засухи в сравнении с закончившими рост листьями. Показано, что совместное действие водного и солевого стрессов характеризовалось существованием некоторого критического уровня концентрации соли в среде выращивания растений (0.1 М), по достижении которого положительное влияние NaCl менялось на резко отрицательное, усиливая действие засухи.



**ВЛИЯНИЕ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА  
НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ЛУГОВЫХ РАСТЕНИЙ:  
ОПЫТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАМЕР С ОТКРЫТЫМ ВЕРХОМ**

**Иванова Л.А., Иванов Л.А., Чанчикова А.Г., Ронжина Д.А.**

*Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия*

*E-mail: Larissa.Ivanova@botgard.uran.ru*

Глобальное изменение климата, наблюдаемое в последние десятилетия, связывают с прогрессирующим увеличением температуры и концентрации «парниковых» газов в атмосфере. «Парниковый эффект» должен вызывать адаптивные изменения в структурно-функциональной организации растений, направление и степень выраженности которых могут различаться у разных видов. Одним из подходов к моделированию изменения климата и изучения ответных реакций растений является использование камер с открытым верхом, установленных в природных условиях. На заповедной территории Ботанического сада УрО РАН, в условиях разнотравного луга, до начала вегетации были установлены три камеры из полиэтиленовой пленки с открытым верхом шестиугольной формы диаметром 1 м и высотой 0.5 м. Для исследований были выбраны 4 вида растений с разными типами экологических стратегий по Грайму: *Alchemilla vulgaris* (S/CSR), *Veronica chamaedrys* (S/CSR), *Cirsium setosum* (CSR), *Taraxacum officinale* (R/CSR). Образцы растений отбирали внутри каждой камеры (опыт, n=3) и рядом с камерами (контроль, n=3). Температура на уровне почвы в камерах была выше на 0.5°C, а относительная влажность воздуха на 10%. Различия условий не повлияли на продукционные и морфологические параметры растений: высота растений, площадь и толщина листьев не изменились. Кроме того, уровни фотосинтеза и транспирации у растений в камерах были такими же, как и в контроле. Однако, опытные и контрольные растения различались по структуре листа и содержанию фотосинтетических пигментов. В условиях камер у изученных видов снижались сухой вес и содержание хлорофиллов в единице площади листа, и увеличивалось содержание воды в листьях. Направление изменений параметров мезоструктуры листа зависело от вида. В условиях камер у *T. officinale* увеличивались размеры клеток, но не изменялось их количество в единице площади листа. *C. setosum* и *V. chamaedrys*, напротив, сохраняли размеры клеток, но снижали их количество в единице площади листа. У *A. vulgaris* и *C. setosum* увеличивалась фотосинтетическая активность хлоропласта. Полученные данные демонстрируют различия в механизмах структурно-функциональной адаптации у растений с разными типами экологических стратегий. Изменение структуры листа позволяет оптимизировать фотосинтез и поддерживать необходимый уровень газообмена в изменившихся условиях среды.

Работа выполнена при поддержке РФФИ 11-04-00435.

## ВЛИЯНИЕ КАДМИЯ НА ЭКСПРЕССИЮ ГЕНА *HvCAH2* В КОРНЯХ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ

**Казнина Н.М., Титов А.Ф., Топчиева Л.В., Батова Ю.В., Лайдинен Г.Ф.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии  
Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия  
E-mail: kaznina@krc.karelia.ru*

Изоляция кадмия в вакуолях клеток является важным механизмом устойчивости растений к данному металлу. При этом установлено, что транспорт ионов кадмия из цитоплазмы в вакуоль может осуществляться с помощью белков-переносчиков, расположенных на тонопласте, в том числе белка-транспортера *CAH2* (Calcium Exchanger 2). Увеличение экспрессии гена *CAH2*, контролирующего синтез этого белка, в присутствии кадмия обнаружено у ряда видов растений, но его роль в механизмах металлоустойчивости до сих пор не установлена. Целью нашего исследования явилось изучение влияния кадмия на экспрессию гена *HvCAH2* в корнях проростков ячменя разного возраста, а также на рост корней и содержание в них металла.

Семена ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Зазерский 85 проращивали в песке. По достижении растениями возраста 3-х (фаза прорастания семян) и 7-и суток (фаза всходов), их переносили в контейнеры с половинным раствором Кнопа (контроль). В опытных вариантах к питательному раствору добавляли 100 мкМ кадмия (в форме сульфата). Спустя 4 маясут в корнях растений измеряли уровень экспрессии гена *HvCAH2* с помощью полимеразной цепной реакции, а также определяли вольтамперометрическим методом содержание металла. Устойчивость растений к кадмию оценивали методом корневого теста ( $I_r$ ).

Установлено, что при действии кадмия в корнях растений ячменя резко повышается экспрессия гена *HvCAH2*. Но, если у 3-дневных проростков уровень экспрессии гена возрастал в 8.5 раз (по сравнению с контролем), то у 7-дневных проростков — в 3 раза, несмотря на более высокое (в 1.3 раза) содержание в них металла. Обнаружено также, что кадмий оказывает сильное негативное влияние на рост корня 3-дневных проростков ( $I_r=0.6$ ). В отличие от этого, у 7-дневных проростков заметного ингибирования роста корня не наблюдалось ( $I_r=1$ ), что свидетельствует об их более высокой устойчивости к металлу.

Таким образом, под влиянием кадмия в корнях ячменя резко увеличивается экспрессия гена *HvCAH2*, причем в большей степени у 3-дневных проростков. Однако при данной концентрации металла (100 мкМ) усиление экспрессии изученного нами гена не приводит к повышению содержания кадмия в корнях и увеличению металлоустойчивости растений.

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИГНАЛЬНЫХ ПОСРЕДНИКОВ ПРИ ИНДУЦИРОВАНИИ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК ДЕЙСТВИЕМ ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТЫ**

**Карпец Ю.В., Луговая А.А., Колупаев Ю.Е.**

*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В.Докучаева, Харьков, Украина*

*E-mail: plant\_biology@mail.ru*

В последние годы появился довольно большой массив данных, свидетельствующих об участии эндогенной и экзогенной жасмоновой кислоты (ЖАК) в индуцировании устойчивости растений к абиотическим стрессорам (Pauwels et al., 2009; Шакирова и др., 2010; Liu et al., 2012). В то же время сигнальные посредники, задействованные в реализации физиологических эффектов экзогенной ЖАК остаются малоисследованными. Имеются сведения, указывающие на роль активных форм кислорода (АФК) в жасмонатном сигналинге (Ozawa et al., 2009). Однако роль конкретных АФК-генерирующих ферментативных систем, которые активируются под влиянием ЖАК и принимают участие в формировании сигнала, индуцирующего развитие устойчивости растительных клеток к повреждающим абиотическим воздействиям, почти не изучена. Одним из ферментов, генерирующих АФК на клеточной поверхности, является НАДФН-оксидаза. В регуляции активности этого фермента задействованы такие сигнальные посредники, как ионы кальция (Ogasawara et al., 2008) и фосфатидная кислота (Sang et al., 2001). Целью исследований было выяснение роли АФК, образуемых с участием НАДФН-оксидазы, в индуцировании устойчивости клеток coleoptiles пшеницы к гипертермии при действии экзогенной ЖАК. Также с использованием ингибиторного анализа было изучено возможное участие кальция и фосфатидной кислоты в реализации физиологических эффектов ЖАК.

Отрезки coleoptiles отделяли от 4-суточных этиолированных проростков пшеницы сорта Элегия. 24-часовая обработка coleoptiles ЖАК вызывала значительное повышение их выживания после повреждающего прогрева. В течение первого часа после начала воздействия ЖАК происходило усиление образования супероксидного анион-радикала и пероксида водорода. Ингибитор НАДФН-оксидазы имидазол угнетал эффект усиления образования АФК coleoptiles пшеницы, вызываемый ЖАК. Также этот эффект в значительной степени подавлялся ингибитором синтеза фосфатидной кислоты бутанолом-1, но не его неактивным аналогом бутанолом 2. Усиление генерации АФК, вызываемое ЖАК, угнеталось и хелатором кальция ЭГТА и блокатором кальциевых каналов хлоридом лантана. Эти эффекторы также в значительной степени нивелировали развитие теплоустойчивости coleoptiles пшеницы, вызываемое ЖАК. Есть основания полагать, что АФК-сигнал, необходимый для индуцирования теплоустойчивости coleoptiles при действии ЖАК, формируется с участием НАДФН-оксидазы, а ионы кальция и фосфатидная кислота задействованы в регуляции ее активности.

**ИОННЫЙ БАЛАНС ПОДРОЖНИКА БОЛЬШОГО И ПОДРОЖНИКА ПРИМОРСКОГО  
В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ****Карташов А.В., Пашковский П.П.***Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия**E-mail: botanius@yandex.ru*

В работе проведено сравнительное исследование действия засоления на баланс ионов натрия у растений гликофита подорожника большого (*Plantago major* L.) и галофита подорожника приморского (*Plantago maritima* L.).

Выращенные в водной культуре 6-недельные растения, подвергали воздействию NaCl в различных концентрациях (50–500 мМ). В листьях растений определяли содержание воды, ионов натрия и осмотический потенциал клеточного экссудата. На препаратах мембран плазмалеммы, выделенной из листьев растений, подвергавшихся засолению 100 мМ NaCl в течение 7 суток, изучали протон-транслоцирующую активность и скорость  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  обмена плазмалеммы подорожников.

Содержание воды в листьях подорожника приморского, в отличие от подорожника большого, при засолении изменялось в узких пределах, а осмотический потенциал клеток не опускался ниже 0,4 МПа относительно осмотического потенциала среды. Важной особенностью и, возможно, центральным звеном в солеустойчивости подорожника приморского была способность к контролю накопления натрия в листьях. У исследуемого галофита содержание натрия поддерживалось на постоянном уровне (в пределах 5 ммоль/г сухой массы), даже при значительных уровнях засоления, что отличало его от подорожника большого.

Значительная роль в стабилизации содержания натрия в листьях подорожника приморского могла принадлежать механизмам активного транспорта ионов через мембраны клеток. Для предотвращения поступления ионов натрия в листья, подорожнику-галофиту необходимо было ограничивать их загрузку в ксилему на уровне клеток ксилемной паренхимы. Как показали исследования на инвертированных везикулах мембран выделенных из корней и листьев подорожника, этот механизм действительно функционировал. Везикулы плазмалеммы, выделенные из корня подорожника приморского, подвергавшиеся засолению, характеризовались сильно сниженной скоростью  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  обмена по сравнению с везикулами, выделенными из корней контрольных растений. В то время как для везикул из корней растений подорожника большого в условиях засоления таких изменений отмечено не было. Вместе с этим, в листьях обоих растений при действии засоления происходило усиление как протон-транслоцирующей, так и  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  обменной активности мембран. Исходя из полученных нами данных, можно предположить, что наблюдаемое при засолении снижение скорости  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  обмена в плазмалемме, выделенной из корней, позволяло в условиях целого растения подорожника приморского ограничивать поступление ионов натрия в ксилему и надземные органы.

**ВЛИЯНИЕ ЭКОТОЛА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДРЕВЕСНЫХ  
САЖЕНЦЕВ РАЗЛИЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТРОПОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ  
В УСЛОВИЯХ ИЗБЫТКА СВИНЦА В ПОЧВЕ**

**Карташова Е.Р., Фитискина Н.В.<sup>1</sup>**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Биологический факультет*

*<sup>1</sup>Московский государственный университет пищевых производств,  
Институт инновационных технологий, управления, качества и безопасности,  
Москва, Россия*

*E-mail: nvfitiskina@mail.ru*

Термин «эктол» для класса природных соединений, повышающих устойчивость организмов к неблагоприятным условиям среды обитания, ввел физиолог растений Г.В. Лебедев. Он же впервые предложил методы получения эктола и дал его общую физиолого-химическую характеристику. В связи с нарастанием экологических проблем мы посчитали целесообразным продолжить данные исследования. Нами было установлено, что в эктоле содержатся биогенные амины (БА), их предшественники и продукты окислительного дезаминирования БА, обладающие полифункциональным действием, способные активно вовлекаться в синтетические реакции. Также нами было показано, что на почвах, содержащих тяжелый металл в пределах ПДК, эктол способствовал росту и облиственности древесных саженцев (клен остролистный), особенно ярко это проявилось в засушливый 2010 год. Для выяснения воздействия эктола на физиологическое состояние древесных саженцев в условиях нормы и избытка свинца в почве в качестве объектов исследования были взяты саженцы ясеня пенсильванского, как наиболее устойчивые к антропогенным воздействиям, и ели обыкновенной, как наиболее восприимчивой к загрязняющим веществам. Опыты, проведенные с ясенем пенсильванским показали, что валовое содержание свинца в почве оставалось неизменным на фоне избытка свинца в отсутствие и при наличии эктола. В варианте с избытком свинца в почве содержание его подвижной формы составляло 25,3% от общего содержания металла и 14,6% в варианте с добавлением к избыточной дозе свинца эктола. Снижению миграционной активности свинца в почве сопутствовало улучшение физиологического состояния саженцев ясеня. Внесенный на избыточном фоне свинца эктол полностью снимал ингибирующее воздействие токсичного металла на флуоресценцию хлорофилла. Активность пероксидазы и содержание белка в листьях ясеня еще более наглядно продемонстрировал положительное воздействие эктола на физиологическое состояние древесных саженцев в условиях избыточных доз свинца. Совсем иную картину мы наблюдали на трехлетних саженцах ели обыкновенной. Валовое содержание избыточных доз свинца в почве, в которой росли ели, в присутствии эктола снизилось на 40%, а подвижной фракции на 45% по сравнению с вариантом, куда эктол не вносился. Этому сопутствовало увеличение содержания свинца на 64,5% в хвое и на 2081% в корнях. Мы полагаем, что эктол будет содействовать успешной фитоэкстракции свинца из почвы однолетними и двулетними растениями, для которых характерно поглощение тяжелых металлов.

## ЭКЗОГЕННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА ПОВЫШАЮТ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ РАСТЕНИЙ К АБИОТИЧЕСКИМ СТРЕССОРАМ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕНЕНИЯ ПРО/АНТИОКСИДАНТНОГО СОСТОЯНИЯ

**Каштанова Н.Н., Сазанова К.А., Семенова А.С., Лукаткин А. С.**

*ФГБОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,  
Саранск, Россия*

*E-mail: aslukatkin@yandex.ru*

В современных условиях растения подвергаются возрастающему воздействию абиотических и антропогенных стрессоров, как физической, так и химической природы. Неблагоприятные воздействия приводят к нарушениям физиологических процессов и продуктивности культурных растений. В основе практически всех воздействий неблагоприятных факторов среды на растительные клетки лежит возникновение окислительного стресса — состояния, характеризующегося смещением про/антиоксидантного равновесия в сторону усиления генерации активированных форм кислорода (АФК) и снижения антиоксидантной защиты. Многочисленными исследованиями была показана высокая эффективность синтетических и природных регуляторов роста (РР) в плане снижения повреждающего действия абиотических стрессоров различной природы. При этом выявлена элиминация стресс-индуцированных изменений физиологических и биохимических показателей, характерных для стрессовых ответов растений. Мы попытались выявить эффекты РР на состояние про/антиоксидантной системы в растениях, подвергающихся действию стрессоров — пониженных и повышенных температур, ТМ и гербицидов.

В работе использовали молодые растения огурца (*Cucumis sativus* L.), кукурузы (*Zea mays* L.), фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.), пшеницы (*Triticum aestivum* L.), и разные РР — тиазурон, 6-бензиламинопурин, цитодеф, эпибрассинолид, Рибав-Экстра, иммуноцитифит. Из предварительно обработанных разными дозами РР семян выращивали растения и подвергали их действию пониженных (2–3°С) или повышенных (43–45°С) температур, ТМ ( $Pb^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ , от 10 мкМ до 10 мМ), ксенобиотиков — гербицидов (паракват, Топик, Гранстар). В динамике стрессового действия оценивали изменения прооксидантной активности (по генерации супероксида, уровню  $H_2O_2$ , интенсивности перекисного окисления липидов), а также антиоксидантной системы (по общей антиоксидантной активности, защитным ферментам — супероксиддисмутазе, аскорбатпероксидазе, каталазе).

Показано, что в клетках растений, выращенных из обработанных синтетическими или природными РР семян, реакция на действие абиотических стрессоров выражена слабее, чем в контроле. Это показано как по генерации АФК и другим проявлениям окислительного стресса, так и по сдвигам антиоксидантной системы. Очевидно, РР могут повышать резистентность растений к абиотическим стрессорам посредством снижения соотношения про/антиоксидантов в растительных клетках. Выявленные эффекты РР в сильной степени зависели от концентраций препаратов и вида растения.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НОВЫХ СОЛЕУСТОЙЧИВЫХ МУТАНТНЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

**Кенжебаева С.С., Атабаева С.Д., Доктырбай Г., Алыбаева Р.А., Нармуратова Ж.,  
Калдыбеккызы Г., Асрандина С.Ш.**

*Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

*E-mail: kenzhebaevas@mail.ru*

Применение различных мутагенов для расширения генетической изменчивости культур является реальным инструментом не только в селекции сельскохозяйственных культур, но в фундаментальных исследованиях по геному растения. Многие мутанты с желательными признаками были выбраны во втором или третьем поколении после мутагенного воздействия и впоследствии созданы как новые сорта в результате агрономической оценки в региональных и национальных исследованиях. Целью данной работы являлась идентификация новых  $M_3$  солеустойчивых продуктивных линий яровой пшеницы, полученных с помощью гамма излучения, доза 200  $\gamma$ , на генетической основе сорта Женис. Для скрининга на солеустойчивость (0% NaCl, 0,6% NaCl (0,064 M) и 1,2% NaCl (0,128 M) по накоплению сухой биомассы корней и надземных органов было отобрано 16 перспективных  $M_3$  мутантных линий: № 1, № 2, № 5, № 6, № 9, № 12, № 24, № 25, № 26, № 28, № 29, № 30, № 31, № 32, № 34 и № 35. Наиболее устойчивыми к действию NaCl в концентрации 1,2% оказались 4 мутантные линии: № 2, № 5, № 9, № 24 и № 34. У этих линий рост корней при высокой концентрации соли ингибируется в меньшей степени по сравнению с сортом стандартом. При этом наиболее устойчивыми к действию стрессора были  $M_3$  линии № 24 и № 34. Результаты по накоплению сухой биомассы надземных органов  $M_3$  линий свидетельствуют, что наиболее устойчивыми к действию NaCl (1,2%) оказались 5 мутантные линии: № 5, № 12, № 25, № 31 и № 35. При этом линия № 5 идентифицирована как наиболее устойчивая к высокой концентрации стрессора по ответным реакциям корней и надземных органов. Было исследовано влияние солей на накопление фотосинтезирующих пигментов в надземных органах 14 дневных проростков у  $M_3$  линий пшеницы. Содержание хлорофилла *a* и *b* у сорта стандарта Женис и исследованных  $M_3$  мутантных линий в условиях 1,2% NaCl снижалась. Наименьший процент снижения хлорофилла *a* отмечалось у линий № 2, № 12, № 25, № 26, № 30, № 31 и № 34 по сравнению со стандартом. Наименьший процент снижения хлорофилла в под действием соли выявлен также у этих  $M_3$  линий № 12, № 25, № 26, № 30, № 31 и № 34 по сравнению со стандартом.

Таким образом, скрининг на солеустойчивость  $M_3$  линий, созданных с использованием гамма-излучения 200  $\gamma$ , что  $M_3$  линии идентифицировал 4 устойчивые мутантные линии: № 2, № 5, № 9, № 24 и № 34. У  $M_3$  линий № 2 и № 34 высокий индекс солеустойчивости по накоплению биомассы корней и надземных органов по сравнению с сортом Женис сопряжен с наименьшим процентом снижения хлорофилла *a* и *b*.



**ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ СОСТАВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ  
*MYRIOPHYLLUM SPICATUM* И *ELODEA CANADENSIS* ИЗ РЕКИ АНГАРА  
ПРИ ДЕЙСТВИИ ГИПЕРТЕРМИИ И ХЛОРИДА КАДМИЯ**

**Кириченко К.А.<sup>1</sup>, Любушкина И.В.<sup>1,2</sup>, Побежимова Т.П.<sup>1</sup>, Соколова Н.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

«Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия

E-mail: kuzma@sifibr.irk.ru

Высшие водные растения—важнейший компонент водных экосистем, являясь перепродуцентами, наряду с водорослями, поставляют вещество и энергию в экосистему водоёма, принимают участие в процессах обмена биогенных элементов, в самоочищении воды, способны накапливать и трансформировать органические и неорганические поллютанты. Растения *Eloдея canadensis* Michx. и *Myriophyllum spicatum* L. собирались в верхнем течении реки Ангара. После культивирования в лабораторных условиях растения экспериментальной группы инкубировали 24, 48 ч при 30°С или в растворе хлорида кадмия (100 мг/л). Анализ состава жирных кислот проводили в виде их метиловых эфиров методом хромато-масс-спектрометра. Относительное содержание жирных кислот определяли в весовых процентах. Статистическую значимость оценивали с помощью *T*-критерия Манна-Уитни. В условиях гипертермии (30°С) состав жирных кислот у исследованных видов менялся незначительно. У *E.canadensis* статистически значимо снизилось содержание только пальмитиновой (C16:0) и пальмитолеиновой (C16:1) кислоты через 48 ч гипертермии. У *M. spicatum* уменьшилось содержание только пальмитолеиновой кислоты (C16:1). Экспозиция исследованных видов в растворе хлорида кадмия (100 мг/л) в течение 24-х и 48-ми часов приводила к изменению в составе жирных кислот в тканях водных растений. При действии хлорида кадмия содержание жирных кислот у *M.spicatum* оставалось близким к контрольному, статистически значимое увеличение содержания выявлено только для миристиновой (C14:0) и пентадекановой (C15:0) кислот чрез 24 ч воздействия токсиканта. Относительное содержание жирных кислот *E.canadensis* менялось иным образом. Статистически значимо увеличивалось содержание пентадекановой (C15:0), гептадекановой (C17:0), стеариновой (C18:0) и арахидиновой (C20:0) кислот в течение 24 и 48 ч эксперимента. Содержание пальмитиновой (C16:0), бегеновой (C22:0) значимо увеличивалось к 48 ч воздействия хлорида кадмия. В целом суммарное содержание насыщенных жирных кислот значимо увеличивалось к 48 ч эксперимента. У данного вида происходило увеличение суммарного содержания жирных кислот с нечётным числом атомов через 24 и 48 часов. Экспозиция *E.canadensis* в течение 48 часов в растворе хлорида кадмия приводила к статистически значимому увеличению содержания суммы изомеров пальмитоолеиновой (C16:1) и суммы *цис*-вакценовой (C18:1n-7) и олеиновой (C18:1n-9) кислот. Статистически значимо уменьшалось содержание  $\alpha$ -линоленовой кислоты (C18:3n-3) через 48 ч эксперимента.

## ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ МХА *BRYUM ARGENTEUM* HEDW. К НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

**Княк Н.Я.**

*Институт экологии Карпат НАН Украины, Львов, Украина*

*E-mail: morphogenesis@mail.lviv.ua*

Загрязнение природной среды нефтью и сопутствующими загрязнителями — острейшая экологическая проблема во многих регионах Украины, в том числе и Львовской области, где расположено Бориславское месторождение нефти. Негативное воздействие нефтедобычи обусловлено как непосредственной деградацией почвенного покрова на участках разлива нефти, так и воздействием ее компонентов на сопредельные среды, вследствие чего продукты трансформации нефти обнаруживаются в различных объектах биосферы. На загрязненных нефтью территориях Бориславского нефтяного месторождения важное место среди толерантных видов растений занимают и бриофиты. Целью работы было исследование механизмов физиологической адаптации мха *Bryum argenteum* Hedw., которые способствуют выживанию растений этого вида в условиях нефтяного загрязнения.

Поскольку параметры водного режима, в первую очередь, осморегуляционные процессы, играют решающую роль для растений в условиях нефтяного загрязнения, было проанализировано физиологические показатели водного режима мха. Установлено существенное снижение водного потенциала до  $-1,98$  МПа в клетках *B. argenteum*, что обеспечивает поступление воды в растительные клетки в условиях влияния нефти.

Толерантность мхов к водному дефициту обеспечивается такой структурной организацией клеток, которая способна выдержать значительную потерю влаги без разрывов внутриклеточных мембран и легко возобновляться в условиях регидратации. Известно, что в клетках мхов в условиях дефицита влаги защитные функции выполняют сахара, пролин и антиоксидантные системы, которые сводят к минимуму негативные последствия обезвоживания. В связи с этим, исследовано содержание растворимых сахаров и свободного пролина в побегах *B. argenteum*. Установлено, что в растениях мха, произрастающих на загрязненной нефтью территории, количество сахаров почти в 1,5 раза превышает их содержание в растениях из фоновой территории, что свидетельствует о важной роли этих осмопротекторов в клетках мхов в условиях нефтяного загрязнения. Для многих видов мхов установлена корреляция между накоплением растворимых сахаров в клетках и устойчивостью к дефициту влаги. Также установлено существенное увеличение содержания пролина в побегах мха (почти в 2,5 раза, по сравнению с растениями *B. argenteum* из фоновой территории).

Таким образом, растения *B. argenteum* адаптируются к нефтяному загрязнению путем активизации осморегуляционных процессов в клетках (увеличение содержания осмотически активных веществ и снижение водного потенциала).

**ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОГО ПРОЛИНА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ  
ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНОВ КАДМИЯ**

**Коваленко М.С., Конотоп Е.А., Улинец В.З.,  
Мелешко А.А., Бацманова Л.М.**

*УНЦ «Институт биологии», Киевский национальный университет  
имени Тараса Шевченко, Киев, Украина  
E-mail: mawunka@mail.ru*

Адаптация растений к абиотическим стрессорам сопровождается накоплением свободного пролина в тканях. При формировании реакции ответа растения на различные воздействия пролин может выполнять функцию осмопротектора, регулировать окислительно-восстановительный потенциал, нейтрализовать кислородные радикалы, кроме того, эта аминокислота стабилизирует третичную структуру белков. Целью нашей работы было изучение влияния экзогенного пролина на устойчивость проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) к действию ионов кадмия.

Семена озимой пшеницы перед посадкой выдерживали 6 часов в растворах пролина возрастающих концентраций (5, 10, 20 мМ) и далее выращивали в водной культуре. Проростки (7-дневные) обрабатывали нитратом кадмия в концентрации 50 мг Cd<sup>2+</sup>/л путем внесения в среду выращивания. Контрольные растения обрабатывали дистиллированной водой. Образцы, для определения биохимических показателей, отбирали через 2, 24, 48, 72 часа после обработки. Оценку физиологического состояния проростков проводили по индикаторам развития стрессовой реакции: уровню перекисного окисления липидов (ПОЛ) и содержанию свободного пролина в листьях. Полученные результаты показали, что предпосевная обработка семян пролином способствовала повышению устойчивости растений к действию ионов кадмия. Так, в опытных вариантах не развивались окислительные процессы, уровень ПОЛ соответствовал контрольным вариантам в течение всей экспозиции, а также отмечено интенсивное накопление свободного пролина в листьях. Для контрольных вариантов характерна интенсификация процессов ПОЛ под действием ионов кадмия. Содержание малонового диальдегида увеличилось в 2 раза на 3 сутки после обработки. Таким образом, обработка семян пшеницы экзогенным пролином способствует повышению неспецифической резистентности растений при действии ионов кадмия, возможно, за счет накопления свободного пролина в листьях проростков.

**ПРО/АНТИОКСИДАНТНЫЙ БАЛАНС В ЛИСТЬЯХ ДВУХ ПРИРОДНЫХ  
СВЕТОВЫХ ФЕНОТИПОВ *PLANTAGO MEDIA* L.****Коковкина Е. В., Табаленкова Г.Н., Головки Т.К.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Коми  
научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия  
E-mail: Kokovkina@ib.komisc.ru*

Жизнь растений протекает в нестабильной среде. Приспособление к условиям существования индуцирует формирование адаптивного ответа на разных уровнях организации растительного организма. Особую роль играют механизмы поддержания про/антиоксидантного баланса в автотрофных клетках, метаболизм которых наиболее чувствителен к свету. Ранее на модельном объекте — подорожнике среднем было показано, что экологические условия способствуют формированию экотипов с устойчивым к фотоингибированию фотосинтетическим аппаратом. В местообитаниях с избыточным притоком прямой солнечной инсоляции в листьях активировались процессы нефотохимического тушения с участием зеаксантин-зависимого механизма диссипации энергии. Целью настоящей работы было сравнительное изучение показателей, характеризующих про/антиоксидантное состояние листьев световых (С) и теневых (Т) растений. Для этого определяли содержание ТБК-реагирующих продуктов, содержание отдельных форм АФК и активность основных антиоксидантных ферментов. Листья отбирали в первой половине июля в утренние, послеполуденные и вечерние часы у растений, обитающих на открытом хорошо прогреваемом склоне и в травостое у подножия склона. Листья на склоне получали почти на порядок больше ФАР и УФ-радиации. Судя по накоплению малонового диальдегида (МДА) уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ) был выше в листьях С-растений. Не выявили существенных различий в содержании  $O_2^{\cdot -}$ , но активность СОД была выше на 25-35% в листьях С-растений. Листья растений мало отличались по активности пероксидазы и каталазы, вместе с тем, содержание перекиси в листьях С-растений было почти в 2 раза больше по сравнению с Т-растениями. Выявили наличие дневной динамики исследуемых показателей. В большинстве случаев отмечали их возрастание в послеполуденное время. Показано, что части листовой пластинки отличаются по исследуемым признакам. Включающие мезофилл паренхимные ткани листьев С- и Т-растений содержали в 1.5 раза больше перекиси, чем центральная жилка (ЦЖ). Содержание  $O_2^{\cdot -}$  в тканях паренхимы и ЦЖ С-растений было в 1.5-2 раза больше по сравнению с Т-растениями. Этому соответствовал более высокий уровень активности СОД. Полученные данные свидетельствуют о влиянии света на состояние антиоксидантной системы и более напряженном про-/антиоксидантном балансе листьев растений, обитающих в условиях прямой солнечной инсоляции.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта УрО РАН 12-С-4-1015

**СКОРОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ СУПЕРОКСИДНОГО АНИОН-РАДИКАЛА В ЛИСТЬЯХ ТОМАТА ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР И ПРЕПАРАТА 6-БАП****Колмыкова Т.С., Шаркаева Э.Ш.***ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет имени Н.П.Огарева»,**Саранск, Россия**E-mail: tskolmykova@yandex.ru*

Возникновение активированных форм кислорода в клетке рассматривают как последовательные этапы восстановления кислорода до воды. Одним из продуктов одноэлектронного восстановления является супероксидный анион-радикал ( $O_2^-$ ). Он не обладает сильными окислительными свойствами, но представляет большую опасность, т.к. является источником образования более активных форм кислорода. Целью исследования стало изучение влияния пониженных температур и препарата 6-БАП на скорость генерации супероксидного анион-радикала. Объектом исследования служили растения томата сортов Подарочный, Патрис, Волгоградский. 21-дневные растения охлаждали в течение трех суток при температурах 10 и 3°С. Сразу после охлаждения (24-дневные растения) и спустя 3 суток после него (27-дневные растения) в листьях определяли скорость генерации супероксидного анион-радикала по его способности окислять адреналин в адrenoхром. Контролем служили растения, находившиеся при температуре 25°С. Понижение температуры до 10°С способствовало увеличению скорости генерации  $O_2^-$  в листьях сортов Подарочный, Патрис и Волгоградский соответственно на 23, 26 и 65%. Температура 3°С усиливала процесс образования радикала в еще более сильной степени — от 3 до 5 раз в зависимости от сорта. Через трое суток после гипотермии скорость образования  $O_2^-$  в листьях 27-дневных растений несколько снижалось по сравнению с периодом действия низкотемпературного стресса. В последствии 10°С режима скорость его генерации резко уменьшилась у сортов Подарочный и Патрис. В последствии 3°С скорость образования активного кислорода значительно снижалась примерно в равной степени у всех изучаемых сортов. Таким образом, с понижением температуры в листьях томата увеличивается скорость генерации  $O_2^-$ , однако при температуре 10°С самое незначительно увеличение скорости были у растений сорта Волгоградский, что может свидетельствовать о более высокой системой защиты от окислительного стресса по сравнению с другими сортами. Известно, что регуляторы роста с цитокининовой активностью способны повышать устойчивость закаленных растений к низким температурам. В связи с этим нами было изучено влияние пониженных температур на скорость регенерации  $O_2^-$  на фоне 8-часовой обработки семян томата 6-БАП (1 мг/л). Сравнение проводили с растениями, необработанными препаратом. Регулятор роста в контрольном варианте уменьшал скорость образования радикала у 24-дневных растений томата сортов Патрис и Волгоградский и немного усиливал его образования у растений сорта Подарочный. При понижении температуры картина резко менялась: цитокининовый препарат значительно усиливал образование  $O_2^-$  по сравнению с необработанными препаратом растениями; причем, примерно в одинаковой степени при температурах 3° и 10°С у разных сортов томата. Обработка семян раствором 6-БАП пока-

зала сходную закономерность у 27-дневных растений томата, т.е. после окончания стресса. Регулятор роста усиливал образование  $O_2^-$  у всех изучаемых вариантах опыта и сортов. Таким образом, 6-БАП в концентрации 1 мг/л совместно с низкотемпературным стрессом провоцирует более сильное развитие окислительного стресса в листьях теплолюбивых растений.

### **УЧАСТИЕ ФЕРМЕНТАТИВНЫХ СИСТЕМ, ФОРМИРУЮЩИХ ПУЛ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА, В РАЗВИТИИ ИНДУЦИРОВАННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ К ГИПЕРТЕРМИИ И ОСМОТИЧЕСКОМУ ШОКУ**

**Колупаев Ю.Е., Обозный А.И., Ястреб Т.О.**

*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В.Докучаеваб, Харьков, Украина  
E-mail: plant\_biology@mail.ru*

Транзиторное усиление генерации растительными клетками активных форм кислорода (АФК), в частности пероксида водорода, в ответ на действие стрессоров в настоящее время рассматривается не столько как признак повреждений, сколько как проявление активации сигнальной сети клеток (Mittler et al., 2011). Ранее нами было показано повышение устойчивости проростков пшеницы к осмотическому шоку кратковременным влиянием высокой температуры и возрастание теплоустойчивости после умеренного осмотического воздействия. При этом в обоих случаях отмечалось транзиторное увеличение содержания пероксида водорода в корнях и побегах проростков (Обозный и др., 2011). Однако оставалось неясным, какие ферментативные системы участвуют в формировании пула пероксида водорода в этих условиях и является ли оно необходимым для развития перекрестной устойчивости проростков пшеницы к гипертермии и осмотическому шоку.

Исследования проводили на этиолированных проростках мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Элегия. Четырехсуточные проростки подвергали закаливающим воздействиям — высокотемпературному (одноминутный прогрев в водном термостате при температуре 42,0°С) и осмотическому (погружение проростков в 1 М раствор сахаразы на 10 мин с последующим переносом в дистиллированную воду на 20 мин).

Установлено, что в течение первых 5–30 мин после высокотемпературного или осмотического закаливающих воздействий, наряду с увеличением содержания пероксида водорода, в корнях и побегах проростков происходило повышение активности супероксиддисмутазы (СОД). В то же время активность антиоксидантных ферментов, обезвреживающих пероксид водорода (каталазы и различных пероксидаз), существенно не изменялась. Вызываемое закаливающим прогревом транзиторное увеличение содержания пероксида водорода подавлялось обработкой проростков ингибиторами НАДФН-оксидазы (имидазолом) и СОД (диэтилдитиокарбаматом натрия). Эти эффекторы, как и скавенжер пероксида водорода диметилтиомочевина, значительно уменьшали положительный эффект закаливающих воздействий на устойчивость проростков к гипертермии и ос-

мотическому шоку. Сделано заключение, что в формировании индуцированной устойчивости проростков к прогреву и осмотическому шоку участвует НАДФН-оксидаза, генерирующая супероксидный анион-радикал, и СОД, превращающая его в пероксид водорода — более стабильную АФК, выполняющую сигнальные функции.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ГАЛОФИТОВ БЕЛОГО МОРЯ

**Кособрюхов А.А., Марковская Е.Ф.**

*Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пуццино, Россия*

*E-mail: kosobr@rambler.ru*

*Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия.*

Работа выполнена на растениях-галофитах произрастающих в естественных условиях приливно-отливной зоны на побережье Белого моря вблизи п. Колежма при интенсивности света 1200–1400 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> и температуре воздуха день/ночь 25–28/18–20°С. Объекты исследования: *Acter tripolium* L., *Triglochin maritimum* L., *Salicornia europaea* L. Для измерения скорости ассимиляции СО<sub>2</sub> и транспирации использовали переносной газоанализатор LCPro+ фирмы ADC BioScientific Ltd. Показано, что скорость фотосинтеза *Acter tripolium* более чем в 2 раза выше, чем у *Triglochin maritimum* и *Salicornia europaea*. Анализ интенсивности фотосинтеза и активности реакции карбоксилирования с использованием модели Фаркьюхара показал, что для *Acter tripolium* характерны более высокие значения скорости электронного транспорта, утилизации триозофосфатов по сравнению с *Salicornia europaea*, а также меньшие затраты на дыхание по сравнению с *Triglochin maritime*. Высокая устьичная проводимость листьев *Acter tripolium* обеспечивает более высокую скорость транспирации, что в сочетании с более высоким содержанием пигментов свидетельствуют о более активном функциональном состоянии фотосинтетического аппарата *Acter tripolium* по сравнению с *Triglochin maritime* и *Salicornia europaea* в исследуемых условиях произрастания.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Минобрнауки № 5.5829.2011 и гранта РФФИ № 12-04-01008-а.

## АККУМУЛЯЦИЯ УГЛЕВОДОВ И УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ

**Красавина М.С., Бурмистрова Н.А.**

*Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: krasavina@ippras.ru*

Многие абиотические стрессы — такие как холод, засоление и засуха — сопряжены с нарушением осмотического баланса в клетках. Поэтому общепринято, что основным



способом преодоления вредного действия этих факторов является накопление в клетках совместимых осмолитов. Кроме поддержания осмотического равновесия, осмолиты влияют на гидратацию макромолекул и мембран, функционируют как шапероны и антиоксиданты, все это необходимо для сохранения внутриклеточных структур. Сигнальная функция осмолитов способствует ранней реакции растения, а способность индуцировать экспрессию генов вызывает индукцию метаболических и физиологических защитных реакций. Углеводы играют центральную роль в метаболизме растений, являясь источником энергии, структурными компонентами, интермедиатами для синтеза других органических молекул, а также запасующими углерод веществами.

К настоящему времени показана аккумуляция в стрессовых условиях растворимых сахаров—гексоз, сахарозы, трегалозы, раффинозы. При этом обычно более устойчивые растения накапливали больше сахаров. Однако устойчивость растений—комплексный процесс, поэтому не обнаружили простой корреляции между накоплением сахаров и устойчивостью. Сахара значительно накапливались на холоду в холодочувствительных проростках риса, но в устойчивых сортах их накопление было слабее. Трансгенные растения рапса, экспрессирующие ген устойчивости *OsMyb*, не аккумулировали на холоду больше растворимых сахаров, чем растения дикого типа (Гамоа и др., 2010). Растения табака, экспрессирующие ген капсидного белка ВТМ, аккумулировали растворимые сахара, но повышения холодоустойчивости при этом не обнаружили. Соотношение осмолитов и динамика их накопления различаются в разных видах растений. Так, накопление сахарозы повышало устойчивость *Rubus idaeus* (Palonen et al. 2000), но не *Lonicera edulis* (Imanishi et al. 1998); содержание глюкозы и фруктозы коррелировало с устойчивостью дуба, а стахиозы и раффинозы—форзиции и осины (Morin et al. 2007). В холодоустойчивом сорте винограда на холоду накапливались раффиноза, сахароза и глюкоза, но только содержание раффинозы коррелировало с устойчивостью (Stushnoff 1993). То-есть, из-за многообразия функций сахаров в метаболизме и множественности механизмов адаптации только аккумуляция углеводов (и других осмопротекторов) не может свидетельствовать о повышении устойчивости растений.

## ОСОБЕННОСТИ УГЛЕКИСЛОТНОГО ГАЗООБМЕНА ФЛАГОВЫХ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ РАЗНЫХ СОРТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Крупа Н.Н.

*Белоцерковский национальный аграрный университет, пл. Соборная 8/1,*

*г. Белая Церковь, Украина, 09117*

*E-mail: krupa.natalja@yandex.ua*

Засуха является одним из главных лимитирующих факторов, который существенно ограничивает генетический потенциал продуктивности культурных растений. Известно, что наиболее чувствительными к действию почвенной засухи являются процессы фотосинтеза и роста растений. Ограничение роста растений, обусловлено низким содержанием воды, и, в основном, связано со снижением их углеродного баланса, который прямо зави-

сит от соотношения между фотосинтезом и дыханием. Показано, что ограничение процессов диффузии  $\text{CO}_2$  из атмосферы в места карбоксилирования является основной причиной снижения интенсивности фотосинтеза в условиях засухи. Проблема влияния засухи на процессы жизнедеятельности растительного организма является достаточно актуальной, поскольку непосредственно касается потерь урожая.

Целью работы было исследовать влияние почвенной засухи на динамику газообмена флаговых листьев разных сортов озимой пшеницы во время ее действия и в период восстановления, после снятия водного стресса. Также была оценена обеспеченность растений ассимилятами и прослежена связь исследуемых физиологических параметров с зерновой продуктивностью при разных условиях водообеспечения.

Объектами исследований были растения сортов озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), которые отличаются продуктивностью и фенотипными особенностями: Фаворитка—высокопродуктивный среднерослый сорт, Смуглянка,—высокопродуктивный короткостебельный, Мироновская 808—старый, высокорослый, менее продуктивный сорт.

Засуху создавали путем прекращения полива, когда растения находились в конце фазы колошения-цветения. На вторые сутки после прекращения полива влажность почвы в сосудах снизилась до 30% полной влагоемкости (ПВ) и поддерживалась на этом уровне дозированном поливом еще в течение 7 суток. На 10 сутки после начала эксперимента опытные растения полили по контрольному уровню влажности почвы (60% ПВ).

Таким образом, можно сделать вывод, что, чем выше были возможности растений поддерживать свой углеродный баланс при стрессовых условиях, а именно активность фотосинтетического аппарата и быстрое восстановление после прекращения стресса, а также способность стебля к накоплению и ремобилизации ассимилятов, тем меньшее влияние засуха оказывала на зерновую продуктивность. Наилучшими по этим показателям были растения сорта Фаворитка.

## **ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ НА ТОКСИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ВЫЗЫВАЕМЫЙ ДЕЙСТВИЕМ ИЗБЫТКА МЕДИ НА ПРОРОСТКИ СОИ**

**Кузнецова Н.А., Бурмистрова Н.А., Куликова А.Л.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН,*

*127276, Москва, Ботаническая ул., 35*

*E-mail: qwer1131@yandex.ru*

Проблема адаптации растений к совместному действию тяжелых металлов и засоления с каждым годом приобретает все большее значение, поскольку земли в сельскохозяйственных регионах и на территориях крупных городов часто подвергаются комплексному загрязнению тяжелыми металлами и хлоридом натрия. Мы изучали действие умеренного засоления и избытка меди на проростки сои (*Glycine max* L.). 4-х дневные проростки сои переносили на 1/2 смеси Хогланда, содержащую 0,15 мкМ  $\text{CuSO}_4$ , в опытные варианты вно-

силы 25 мМ NaCl или 5 мкМ CuSO<sub>4</sub> или оба стрессорных фактора вместе. Продолжительность опыта составляла 5 суток. Избыточное содержание ионов меди в питательной среде приводило к значительному ингибированию роста сои — прирост биомассы целого растения снижался на 48% по сравнению с контролем. Засоление среды снижало прирост биомассы на 10%. При внесении соли на фоне меди повреждающий эффект этих двух соединений суммировался. Увеличение длины главного корня тормозилось на 63% при наличии избытка меди в среде и дополнительно снижалось на 10–20% при добавлении соли. Повреждающее действие меди на целостность мембран клеток корня, которое определяли по поступлению в клетки красителя Эванс синий, также заметно возрастало под влиянием засоления.

Интересно отметить, что использованный нами относительно небольшой избыток меди приводил к увеличению содержания хлорофилла в листьях проростков сои на 15–20%. Засоление среды на фоне избытка меди повышало сумму хлорофиллов ещё на 5–10%. Под действием меди значительно возрастало накопление сахаров: на 70–80% в листьях и в 2–2,5 раза в корнях. Добавление 25 мМ NaCl отдельно или совместно с 5 мкМ CuSO<sub>4</sub> почти не влияло на содержание растворимых углеводов.

При росте проростков сои на среде, содержащей 25 мМ NaCl, накопление пролина увеличивалось в 1,5 раза по сравнению с контролем, 5 мкМ CuSO<sub>4</sub> увеличивал накопление пролина в 2,5 раза, совместное действие соли и меди суммировало эффекты.

Известно, что у растений-галофитов присутствие в среде хлористого натрия способно значительно снизить токсический эффект высоких концентраций тяжелых металлов (Kholodova et al., 2010). У гликофитов, к которым относится соя, вероятно, отсутствует данная стратегия адаптации, так как добавление хлористого натрия не смягчало, а в большинстве случаев усиливало повреждающий эффект избытка меди.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ 13-04-01001 А

## **ВЛИЯНИЕ БАКТЕРИЙ *VACILLUS SUBTILIS* НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ *SINAPIS ALBA* ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ПОЧВЫ ИОНАМИ НИКЕЛЯ**

**Курамшина З.М.<sup>1</sup>, Смирнова Ю.В.<sup>1</sup>, Хайруллин Р.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета,  
Стерлитамак, Россия*

<sup>2</sup>*Учреждение Российской академии наук, Институт биохимии и генетики  
Уфимского научного центра РАН, Уфа, Россия  
E-mail: kuramshina\_zilya@mail.ru*

В настоящее время все большее значение приобретают исследования в области биотехнологий, использующих микроорганизмы для повышения устойчивости растений к различным стрессовым факторам, в том числе, к тяжелым металлам.

Целью исследования явилось изучение влияния инокуляции семян горчицы белой (*Sinapis alba* L.) эндофитными штаммами бактерий *B. subtilis* на активность каталазы растений при загрязнении почвы ионами никеля. Эксперименты проводили в лабораторных условиях. Семена промывали в мыльной воде, несколько раз ополаскивали в проточной и в дистиллированной воде. Обработку семян бактериями *B. subtilis* штаммов 26Д и 11ВМ (в концентрации  $10^6$  клеток/мл) проводили в ламинар-боксе. В опытах использовали 20-часовую культуру бактерий, растущую на мясо-пептонном агаре при  $+37^\circ\text{C}$ . Клетки бактерий отмывали раствором 0,001 М КСl. Никель в почву вносили в виде раствора соли  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , однократно после посадки семян. Контрольные растения поливали дистиллированной водой. Растворы соли готовили в пересчете на ионы металла в концентрациях 10 и 200 мг/кг. Растения выращивали при температуре  $18\text{--}20^\circ\text{C}$ . Отбор проб и измерение сырой массы побегов проводили на 3, 6, 9, 14 и 30 сутки. Активность каталазы определяли согласно методике Королук с соавторами, основанной на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс.

В ходе экспериментов было отмечено, что растения, обработанные клетками *B. subtilis*, росли лучше по сравнению с необработанными (контрольными) проростками.

У проростков горчицы, обработанных бактериями, были отмечены и более высокие показатели активности каталазы по сравнению с необработанными растениями. Так, на 9 сутки показатели активности каталазы в побегах растений, обработанных *B. subtilis* шт. 26 Д и 11 ВМ были выше на 50% и 25%, соответственно, по сравнению с контрольными.

При воздействии ионов никеля наблюдали уменьшение показателей сырой массы горчицы. У проростков, обработанных клетками бактерий, в присутствии ионов металла сырая масса была больше, чем у необработанных. Показано падение активности каталазы (на 15%) у неинокулированных бациллами растений при концентрации никеля 200 мг/кг почвы; при обработке семян клетками эндофита снижения активности фермента не происходило. Сохранение активности каталазы может свидетельствовать о большей устойчивости обработанных бактериями растений к действию ионов никеля.

## **РОЛЬ КАРОТИНОИДОВ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ФОТОСИСТЕМ И СТРЕСС-УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ**

**Ладыгин В. Г.**

*Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук,*

*Пушино, Россия*

*E-mail: ladyginv@rambler.ru*

В последние годы активизировались исследования по локализации каротиноидов в связи с участием их в структурно-функциональной организации мембран хлоропластов. Во многих направлениях этих исследований достигнуты значительные успехи. Однако

роль  $\alpha$ -каротина и производных от него  $\alpha$ -ксантофиллов (т.е. всех  $\alpha$ -каротиноидов) до сих пор, практически, не изучалась. Интерес к ним обусловлен тем, что так же, как ФС-II,  $\alpha$ -каротиноиды синтезируются только в хлоропластах водорослей и высших растений с оксигенным фотосинтезом и наличием двух фотосистем.

В нашем исследовании четко установлено, что изменение состава каротинов при увеличении доли  $\zeta$ -каротина с максимумом поглощения 409–434 нм повышает устойчивость клеток как при действии малых, так и больших доз УФ-излучения. Для объяснения этого эффекта можно высказать несколько предположений: а) наблюдаемый эффект обусловлен усилением фотореактивации благодаря совпадению максимума поглощения  $\zeta$ -каротина с максимумом хромофорной активности фотореактивирующего фермента; б) наблюдаемый эффект обусловлен участием этого каротина в процессах репарации повреждений. Обсуждается также механизм повышенной устойчивости клеток мутантов к действию  $\gamma$ -излучения.

### **СОСТОЯНИЕ МЕРИСТЕМЫ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРАСТАЮЩИХ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА**

Луценко Э.К., Галактионова М.В.

Одним из губительных стресс-факторов, лимитирующих рост растений, является засоление. Актуальность исследований экологической устойчивости растений в условиях засоления обусловлена распространением засоленных почв на всех континентах, однако господствуют они в зонах степей, полупустынь и пустынь. В различных регионах засоленные почвы существенно различаются по своим свойствам и, как следствие, имеется специфика в произрастании растений в этих условиях.

Интегральным показателем степени комфортности существования растений в условиях действия любого стрессора является рост растений. Одним из самых чувствительных этапов онтогенеза растений является прорастание семян.

В работе хлоридное засоление моделировалось в концентрациях 0,1 0,2 М, контролем служили проростки выращенные на дистиллированной воде.

Установлено, что в условиях повышенного содержания соли в субстрате формирование меристематической зоны в корешках проростков проходила позже, чем на контроле. Засоление тормозило вступление клеток в митоз, с увеличением уровня засоления тормозящее действие соли усиливалось, кроме того, увеличивался показатель асинхронности вступления клеток в митоз. Всхожесть и энергия прорастания семян под действием соли снижались, что повлекло за собой последующее уменьшение размеров корней и надземной части проростков.

При засолении среды хлоридом натрия наблюдались ультраструктурные изменения в клетках периферемы. Характер и степень этих изменений зависели от концентрации соли. В опытных вариантах отмечены изменения в структуре ядра. Под действием 0,2 М NaCl

наблюдалось расширение перенуклеарного пространства и извилистость контура ядерной оболочки, кроме того попадались ядра не типичной, дискообразной формы. В единичных случаях отмечено резкое сжатие ядрышек и обособление фибриллярной и гранулярной зон, что может свидетельствовать о макросегрегации компонентов ядрышка. При этом фибриллярные оксифильные зоны располагались на периферии ядрышек. Под действием засоления наблюдались микроструктурные изменения митохондрий выражающиеся в снижении электронной плотности вещества матрикса, кристы имели расширенные внутрикристные промежутки.

Известно, что растения в стрессовых условиях способны к индукции активности антиоксидантных систем. Исследование активности некоторых ферментов, являющихся компонентами антиоксидантных систем, показало изменения этого показателя по сравнению с контролем. Так, активность пероксидазы существенно возростала, причем в побегах в большей степени, чем в корнях в это же время было отмечено снижение активности каталазы в побегах проростков, но повышение его активности в корнях.

Под действием засоления происходит увеличение содержания МДА в корнях и снижение его в побегах. Можно полагать, что ткани корня являются более чувствительными к повышенному содержанию соли в субстрате, а это может приводить к индукции в них реакций образования МДА. Повышение концентрации МДА в корнях, очевидно, ведет к снижению активности этих процессов в побегах, что в свою очередь приводит к образованию МДА в побегах по компенсаторному механизму.

## **ДВЕ ВОЗМОЖНЫЕ СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ПОСТУПЛЕНИЮ КАДМИЯ В ПОБЕГ НА ПРИМЕРЕ ДВУХ ВИДОВ ЗЛАКОВ**

**Лысенко Е.А.<sup>1</sup>, Клаус А.А.<sup>1</sup>, Пшибытко Н.Л.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия*

<sup>2</sup> *Институт биофизики и клеточной инженерии НАНБ, Минск, Беларусь*

*E-mail: genlysenko@mail.ru*

Кадмий является одним из наиболее токсичных тяжёлых металлов. Наиболее распространенные механизмы адаптации растений к присутствию кадмия — это ограничение его поступления в побег и ограничение его поступления в метаболически активные компартменты клеток.

Мы сравнили повреждающее воздействие кадмия на растения ячменя (сорт «Луч») и кукурузы (сорт «Лучистая»). Оба вида реагировали на присутствие кадмия сходным образом. Однако на стадии 9 дневных проростков высоко токсичная, но не летальная концентрация кадмия (80 мкМ) подавляла рост и развитие ячменя сильнее, чем кукурузы. При этом в тканях побега ячмень накапливал меньшее количество кадмия, чем кукуруза, а в корнях накопление кадмия практически не отличалось. В хлоропластах ячменя, но не кукурузы кадмий снижал нефотосинтетическое тушение флуоресценции (быстрый компо-

нент NPQ). Мы определили содержание кадмия в интактных хлоропластах, изолированных при помощи градиента перкола. Оказалось, что в хлоропластах кукурузы содержится втрое меньшее количество кадмия, чем в ячмене. По-видимому, ограничение поступления кадмия в хлоропласты является одной из стратегий адаптации к поступлению кадмия в побег. Проростки кукурузы реализуют эту стратегию более эффективно, поэтому демонстрируют более высокую устойчивость к воздействию кадмия.

На стадии 34-дневных растений летальная концентрация кадмия (250 мкМ) приводила к гибели 42% растений кукурузы и 2,4% растений ячменя. Нами показано, что оба вида злаков ограничивают поступление кадмия в молодые листья: в побеге кадмий преимущественно накапливается в старых листьях, и чем моложе лист, тем меньше в нем содержание кадмия. У ячменя разница между старыми и молодыми листьями по содержанию кадмия больше, чем у кукурузы. Мы полагаем, что благодаря более строгому ограничению поступления кадмия в молодые листья растения ячменя лучше выживают в присутствии летальной концентрации кадмия.

Таким образом, у двух видов злаков мы наблюдали две разные стратегии адаптации к поступлению кадмия в побег. У кукурузы более эффективно функционирует стратегия клеточного уровня (ограничение поступления кадмия в хлоропласты), а у ячменя — организменного (ограничение поступления кадмия в молодые листья).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 13-04-00068 и № 13-04-00154.

## **ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС РАСТЕНИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ**

**Максимов Т.Х., Максимов А.П., Кононов А.В.**

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия  
Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия  
E-mail: tmax@mail.ru*

Начиная с шестидесятых годов прошлого века, основное внимание физиологии растений было направлено на фотосинтетическую деятельность сельскохозяйственных растений и лесного полога. Увеличение объема работ и улучшение приборного обеспечения в течение последних 25 лет, позволили проводить комплексные измерения микрометеорологических и экофизиологических параметров, не нарушая целостности растительного организма и экосистемы в целом. Результаты этих исследований могут быть использованы в создании и совершенствовании современных экологических моделей регионального и континентального бюджета углерода, азота и воды в условиях глобального изменения климата. Всевозможные интерпретации по региональному, континентальному и глобальному циклу углерода, независимо от методических подходов, в конечном счете сводятся к структурно-функциональной взаимосвязи в жизнедеятельности растений.



Наиболее важным в продукционном процессе растений в засушливых условиях Восточной Сибири является период до формирования генеративных органов, когда растения наиболее чувствительны к дефициту влаги. В этот период роста растений особенно значима степень развития корневой системы, ее способность депонировать фонды ассимилятов, которые впоследствии транспортируются в генеративные органы. В условиях криолитозоны происходит ингибирование фотосинтеза. Поэтому величина депонированных фондов ассимилятов корней может стать существенным фактором формирования биологической продуктивности растений.

Рост и развитие древесных растений в Якутии за короткий вегетационный период обеспечиваются высокими уровнями физиологических процессов (фотосинтеза и транспирации) при сравнительно низких темновых и ночных дыхательных затратах на рост и поддержание.

Наши многолетние наблюдения показали, что в течение короткого, но теплого вегетационного периода (конец мая — конец первой декады сентября) мерзлотные лесные экосистемы являются стоком углекислого газа с максимальной поглотительной способностью до  $6,1 \text{ кг C га}^{-1} \text{ сут}^{-1}$ .

Сезонный максимум фотосинтетической деятельности растений лесного полога в засушливые годы наблюдается в июне месяце, а во влажные — в июле. В течение вегетационного периода древесные растения Якутии используют от 1,5 до  $4,0 \text{ т C га}^{-1} \text{ сезон}^{-1}$ , в зависимости от влагообеспеченности. Дыхательные затраты в ночные часы усвоенной днем углекислоты выше в засушливые и крайне засушливые годы (10,9 и 16,1 %, соответственно). Темновые дыхательные затраты лиственницы в течение периода вегетации — от 22 до 57 % величины максимальной интенсивности фотосинтеза.

Главенствующим фактором повышения продуктивности экосистем криолитозоны при потеплении климата будет направленность педотурбационных процессов, напрямую воздействующих на круговорот основных органоенов в экосистеме. Продукционный процесс растений криолитозоны в условиях потепления климата будет в основном лимитирован эндогенными факторами — устьичной проводимостью, а также экзогенными — обеспеченностью растений влагой и минеральными органоенами, особенно азотом.

Вся территория Российской Федерации является значительным стоком углерода, оцениваемым в  $0,7 \text{ млрд. т C год}^{-1}$ . В связи с потеплением климата отмечается тенденция повышения объема аккумуляции углерода мерзлотными тундровыми экосистемами в результате увеличения продолжительности вегетационного периода. К этому ведут также изменения в землепользовании и утилизация углекислоты в виде удобрения.

В мерзлотных лесах Восточной Сибири заметно преобладает сток углерода, по сравнению со всеми исследованными биомами России. Здесь он больше, чем в лугах и тундрах России в среднем в 1,5 и 4,5 раза, соответственно.

## ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ МОЧЕВИНЫ НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС ЭЛОДЕИ

**Малева М.Г., Чукина Н.В., Борисова Г.Г.**

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Россия  
E-mail: maria.maleva@mail.ru*

Мочевина (карбамид)— азотсодержащее органическое соединение, изучению роли которого в природных экосистемах уделяется недостаточное внимание. Мочевину часто используют как богатое азотом, физиологически нейтральное удобрение для повышения плодородия почвы или увеличения продуктивности водоемов в системе прудового рыбного хозяйства. Мочевина не является токсическим веществом, однако продукт ее распада аммиак, особенно при залповом загрязнении воды исследуемым амидом, может существенно влиять на качество воды, а также приводить к снижению продуктивности высших растений.

В модельных экспериментах изучали влияние возрастающих концентраций мочевины на антиоксидантный статус погруженного гидрофита *Elodea densa* Planch. Побеги элодеи инкубировали в течение 5 суток на 5% среде Хогланда-Арнона I с добавлением мочевины в концентрации 0; 100; 500; 1000 мг/л при естественном освещении. Среду в опытных вариантах ежедневно обновляли для поддержания заданной концентрации мочевины. Обнаружено, что мочевина, уже при низкой концентрации в среде (100 мг/л), вызывала окислительный стресс в листьях элодеи из-за образования повышенного количества активных форм кислорода (супероксид радикала и пероксида водорода) и активации перекисного окисления липидов (ПОЛ). При этом антиоксидантный потенциал элодеи поддерживали низкомолекулярные антиокислители (аскорбат, каротиноиды) и некоторые ферменты-антиоксиданты (каталаза, аскорбатпероксидаза).

Выявлена прямая зависимость между концентрацией мочевины в среде и содержанием продуктов ПОЛ в листьях элодеи ( $r=0.98$ ,  $n=12$ ,  $p<0.001$ ). Концентрация мочевины 1000 мг/л приводила к увеличению продуктов ПОЛ более чем в 2 раза и истощению пула небелковых антиоксидантов. В этих условиях антиоксидантную защиту осуществляли, главным образом, ферменты— супероксиддисмутаза, гваяколовая пероксидаза. Кроме того, наблюдалось значительное увеличение растворимых белковых тиолов (на 30-60% от контроля), что могло быть следствием неспецифической защитной реакции на токсичное действие мочевины или структурной модификацией белков из-за разрыва S-S связей.

Таким образом, при повышенных концентрациях мочевины может представлять угрозу для высших водных растений, провоцируя образование активных форм кислорода и развитие окислительного стресса. Важную роль при этом играют низкомолекулярные и высокомолекулярные компоненты антиоксидантной системы, активация которых обеспечивает устойчивость растения к стрессору.

**МИКОСИМБИОТРОФИЯ И НАКОПЛЕНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
В КОРНЯХ ОРХИДНЫХ УМЕРЕННОГО КЛИМАТА****Маракаев О.А.<sup>1</sup>, Холмогоров С.В.<sup>1</sup>, Богомолов Ю.В.<sup>1</sup>, Загоскина Н.В.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия,

E-mail: olemar@yandex.ru

<sup>2</sup> ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва,

E-mail: phenolic@ippras.ru

Процесс микосимбиотрофии является необходимым для жизнедеятельности многих высших растений, в том числе и орхидных (Orchidaceae). Присутствие микосимбионта сопровождается их онтогенез с момента прорастания семян до естественной гибели. Фрагментарные данные, полученные в основном для тропических видов семейства и для растений в культуре *in vitro*, указывают на важную роль в этом процессе фенольных соединений (ФС), обладающих фунгистатическим и фунгицидным действиями.

Впервые выявлены высокие уровни накопления ФС и флавоноидов в придаточных корнях пальчатокоренника пятнистого (*Dactylorhiza maculata*) — представителя орхидных умеренного климата северного полушария — во время естественного покоя (сентябрь-декабрь) и в период вегетации (июль). Максимальное содержание ФС составляло 2,75 и 2,02 мкг/г сырой массы, а флавоноидов — 0,46 и 0,24 мкг/г сырой массы соответственно. Наибольшая степень микотрофности (1,5–2,5 баллов), характеризующая обилие микосимбионта в корнях, отмечалась в период вегетации (май-август) и в начале покоя, когда в клетках преобладала лизированная зернистая масса эндوفита. Аналогичные особенности установлены и для частоты встречаемости микоризной инфекции (ЧВМИ), которая изменялась от 68 до 100%. Показатель корреляции рангов по Спирмену (при уровне  $p \leq 0,05$ ) свидетельствует о значимой связи (0,61) между степенью микотрофности и содержанием флавоноидов в корнях растений в течение их роста и развития, отсутствующей в случае с суммарным накоплением ФС, в том числе при использовании выборочного коэффициента корреляции. Между ЧВМИ и содержанием флавоноидов установлена значимая связь по двум критериям — показателю корреляции рангов (0,67) и выборочному коэффициенту корреляции (0,64). Последний критерий указывает также на наличие положительной связи между ЧВМИ и накоплением ФС в корнях (0,51).

Все это свидетельствует о том, что фенольный статус корней *D. maculata* определяет, прежде всего, возможность присутствия в них микосимбионта, нежели степень его развития, что в большей степени может быть связано, например, с наличием и активностью гидролитических ферментов. Накопление ФС, по-видимому, является биохимическим фактором, обуславливающим процессы проникновения микосимбионта в корни и его распространения по клеткам и межклетникам коровой паренхимы. При этом для заселения корней *D. maculata* микосимбионтом наиболее значимым оказывается накопление флавоноидов, к которым относятся и такие специфические защитные агенты растительных тканей, как фитоалексины.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЛИНИЙ ПОДСОЛНЕЧНИКА К ЛОЖНОЙ МУЧНИСТОЙ РОСЕ

**Маркин Н.В.<sup>1</sup>, Тихобаева В.Е.<sup>1</sup>, Усатенко Т.В.<sup>2</sup>, Воличенко М.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

E-mail: nmarkin@mail.ru

<sup>2</sup>Донская опытная станция им. Л.А. Жданова ВНИИМК, Россия

Ложная мучнистая роса (ЛМР) подсолнечника, вызываемая облигатным патогенным грибом *Plasmopara halstedii* (Farl.) Berl. et de Toni из класса *Oomycetes* — одно из наиболее вредоносных заболеваний культурного подсолнечника. По данным литературы, в мировой популяции *P. halstedii* насчитывают 36 патотипов, которые представляют в настоящее время около 11 рас. С помощью стандартного набора линий-дифференциаторов подсолнечника в регионах Северного Кавказа идентифицировано 7 рас патогена, из которых наиболее распространенными являются 330 и 710 расы. В связи с этим в лабораторных условиях мы провели оценку селекционных линий подсолнечника на устойчивость к расам—330 и 710 возбудителя ЛМР, а также генотипирование этих линий с помощью STS-маркеров. Объектом исследования служили 29 отцовских линий из коллекции Донской опытной станции масличных культур им. Л.А. Жданова ВНИИМК. Критерием чувствительности растений к ЛМР являлось наличие конидиального спороношения на семядольных и настоящих листьях проростков. Молекулярно-генетический анализ проводили с помощью 9 STS-маркеров трех *Pl*-локусов—*Pl*<sub>5</sub>, *Pl*<sub>6</sub> и *Pl*<sub>8</sub> ассоциированных с устойчивостью подсолнечника к ЛМР.

В результате были выделены линии, контрастно различающиеся по степени поражения ЛМР. Из 29 изученных форм все растения 11 линий оказались устойчивыми к обеим расам, 13 линий чувствительными к этим расам, а остальные 5 линий устойчивыми к 330 расе, но поражаемыми расой 710. Так как устойчивость к возбудителю ЛМР у подсолнечника контролируется доминантными генами, нами были исследованы STS-маркеры, ассоциированные с устойчивостью подсолнечника к этому заболеванию. Из 9 изученных STS-маркеров только два—HaP2 и HaP3 маркирующие локус *Pl*<sub>6</sub> оказались информативными и позволили из 11, устойчивых к ЛМР линий, маркировать 10 линий. При этом в генотипе устойчивых линий определены специфичные ПЦР-фрагменты размером около 1200 п.н. (HaP2) и 1800 п.н. (HaP3). Очевидно, что данные ДНК-маркеры HaP2 и HaP3 могут быть эффективны для быстрой идентификации устойчивых к этому патогену генотипов в больших выборках, что позволит сократить временные и материальные затраты селекционного процесса подсолнечника.

Исследование выполнено в рамках темы Министерства образования и науки РФ (№ 4.5642.2011) и при финансовой поддержке ФЦП Министерства образования и науки РФ (госконтракт № 16.740.11.0485).

**СОРТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ *PHASEOLUS VULGARIS* В ФОРМИРОВАНИИ  
ПРОДУКТИВНОСТИ И СИМБИОТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ**

**Маркова О.В., Гарипова С.Р.**

*Башкирский государственный университет, Уфа, Россия*

*E-mail: o-ksana@list.ru*

Ключевыми механизмами повышения уровня устойчивости культурных растений к стрессорам различной природы являются применение адаптивных технологий и целенаправленная селекция сортов на увеличение адаптационного потенциала растений.

Целью данной работы являлось изучение влияния почвенно-климатических факторов на продуктивность и симбиотическую активность разных сортов фасоли в условиях Южного Урала. В качестве объекта исследований использовали растения фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) районированных сортов Золотистая, Уфимская и французского сорта Эльза (к-14693). Полевые исследования проводили в период с 2003 по 2010 гг. в условиях Южной и Северной лесостепной зоны Южного Предуралья.

Результаты показали, что семенная продуктивность и клубенькообразование существенно зависели от климатических условий (ГТК варьировал в пределах от 3.7 в 2004 г. до 0.2 в 2010 г.). Средняя продуктивность для сорта Эльза составила 12.5 г/раст., для сорта Золотистая — 9.2 г/раст., для сорта Уфимская — 8.4 г/раст. Сорт Эльза в благоприятных по влагообеспеченности условиях (ГТК=1.6-0.9) характеризовался более высокой семенной продуктивностью, чем районированные сорта Золотистая и Уфимская, однако в критический по дефициту влаги вегетационный сезон 2010 г. (ГТК= 0.3-0.2) местные сорта оказались более адаптивными.

В экспериментах при ГТК $\leq$ 0.9 отмечено, что независимо от типа почвы, растения фасоли не образовывали клубеньки на корнях. Это может объясняться тем, что в целях экономии влаги растения снижали экссудацию корневых выделений, привлекающих клубеньковые бактерии и поддерживающих развитие бактерий в ризосфере.

Результаты корреляционного анализа показали, что связь между климатическими факторами окружающей среды и генеративной продуктивностью была высокой только для растений сорта Эльза ( $r=0.83$  и  $0.72$ ). Для этого сорта также была характерна и высокая степень зависимости клубенькообразующей активности от доступности влагообеспечения ( $r=0.79$ ). Сорта Уфимская и Золотистая были менее отзывчивыми на климатические условия, о чем свидетельствует средняя степень связи между ГТК и массой семян ( $r=0.53$  и  $0.49$ ), а также между ГТК и количеством клубеньков ( $r=0.53$  и  $0.62$ ). Вклад симбиотической активности в формирование семенной продуктивности был обозначен только для сорта Эльза ( $r=0.73$ ), тогда как для местных сортов эта связь была слабой. Сортные особенности формирования симбиоза и продуктивности в разных условиях среды могут быть учтены в дальнейшей селекционной работе.

## ПИГМЕНТНЫЙ АППАРАТ РАСТЕНИЙ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОЙ ЗОНЫ БЕЛОГО МОРЯ ПО ГРАДИЕНТУ ЗАЛИВАНИЯ

**Марковская Е.Ф., Кокк А.А., Гаврилова О.Н., Стародубцева А.А.**

*ФБОУ ВПО Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия*

*E-mail: korzunina84@mail.ru*

Работа выполнена на побережье Белого моря о. Большой Соловецкий. Содержание пигментов было определено у 31 вида растений приливно-отливной зоны (у 8 видов произрастающих на литорали, у 25 видов — на супралиторали). Литораль: содержание суммы хлорофиллов варьирует от 0.9 (*Salicornia europaea*) до 6.6 мг/г сух. массы (*Bolboschoenus maritimus*), сумма каротиноидов от 0.2 (*Salicornia europaea*) до 1.0 мг/г сух. массы (*Puccinellia maritima*), соотношение хлорофиллов от 1.2 (*Bolboschoenus maritimus*) до 3.8 (*Eleocharis uniglumis*), соотношение суммы хлорофиллов и каротиноидов от 3.0 (*Ruppia maritima*) до 9.5 (*Glaux maritima*), ССК от 47% (*Eleocharis uniglumis*) до 95% (*Glaux maritima*). Супралитораль: сумма хлорофиллов варьирует от 1.1 (*Minuarcia biflora*) до 4.5 мг/г сух. массы (*Elytrigia repens*), каротиноидов от 0.3 (*Triglochin palustre*) до 1.2 мг/г сух. массы (*Festuca rubra*), соотношение хлорофиллов от 1.4 (*Carex salina*) до 4.4 (*Ligusticum scoticum*), соотношение суммы хлорофиллов и каротиноидов от 3.4 (*Ligusticum scoticum*) до 8.3 (*Carex salina*), ССК от 41% (*Ligusticum scoticum*) до 91% (*Elytrigia repens*). Показано, что выявленные различия связаны как с гетерогенностью условий, так и с биологией видов этих двух территорий.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ №12-04-01008-а, проекта № 635-12 Министерства образования и науки РФ и Программы стратегического развития ПетрГУ.

## АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ ПОЧВОПОКРОВНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**Мартынова Н.В., Опанасенко В.Ф., Лихолат Ю.В.**

*Днепропетровский национальный университет им. Олеса Гончара,*

*г. Днепропетровск, Украина*

*E-mail: tolos@i.ua*

Важной особенностью растений является способность к активации своих антиоксидантных ферментных систем в неблагоприятных условиях. Нами было изучено активность супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы 12 видов почвопокровных растений, растущих в зоне непосредственного воздействия выбросов промышленных предприятий. Контролем служили растения коллекции Ботанического сада ДНУ им. О. Гончара (чистая зона). В качестве объектов были выбраны как растения местной флоры (*Anemone sylvestris* L., *Asarum europaeum* L., *Euphorbia cyparissias* L., *Potentilla anserina* L., *Sedum acre* L., *Stellaria holostea* L.), так и интродуцированные из других географических зон (*Sedum*

*reflexum* L., *Sedum spurium* Bieb., *Sedum kamschaticum* Fisch., *Dendranthema arcticum* (L.) Tzvel., *Viola alba* Bess., *Campanula poscharskyana* Degen.).

Анализ воздействия стрессовых факторов на активность супероксиддисмутазы в листьях почвопокровных растений показал, что только у *Sedum spurium*, *Euphorbia cyparissias*, *Asarum europaeum* и *Dendranthema arcticum* данный показатель был стабильным и более высоким, чем у контрольных растений на протяжении всего вегетационного периода. У остальных видов на территории с сильным загрязнением в середине вегетации наблюдалось снижение активности фермента относительно контрольных значений.

Динамика активности каталазы и пероксидазы всех видов показала как повышение, так и снижение данного показателя относительно контроля в зависимости от силы воздействия стрессового фактора и стадии сезонного развития исследуемых видов. Наибольшее снижение активности этих ферментов припадало на фазы вторичного роста и физиологического покоя. Особенно это касалось таких видов как *Stellaria holostea*, *Viola alba* и *Campanula poscharskyana*, у которых значительное снижение активности наблюдалось уже в середине вегетации, тогда как у других видов — в фазе вторичного покоя. Возможно, это связано с более быстрым накоплением токсических веществ этими растениями, что привело к угнетению их антиоксидантной системы.

Таким образом, в ходе исследования выявлено негативное воздействие высокого уровня загрязнения на активность ферментов у некоторых видов (*Anemone sylvestris*, *Stellaria holostea*, *Viola alba* и *Campanula poscharskyana*), что значительно ограничивает использование этих видов на соответствующих территориях. В то же время защитная ферментативная система большинства исследуемых почвопокровных растений, прежде всего *Euphorbia cyparissias*, *Potentilla anserina* и видов рода *Sedum*, успешно противостоит воздействию вышеупомянутых стрессоров.

### **ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ МОРФОГЕНЕЗА КОРНЕВИЦ (НА ПРИМЕРЕ ТЫСЯЧЕЛИСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО)**

**Маслова С. П., Табаленкова Г. Н., Малышев Р. В.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии  
Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия  
E-mail: maslova@ib.komisc.ru*

Период покоя является качественным переходным этапом в онтогенезе подземного побега и растения в целом. Физиологическая природа этого механизма до сих пор остается мало исследованной. Полагаем, что физиолого-биохимические изменения, связанные с адаптацией растений к неблагоприятным условиям зимнего периода, играют важную роль в регуляции морфогенеза корневищ и онтогенеза корневищных многолетников. На модельном виде *Achillea millefolium* изучали рост и метаболическую активность подземных побегов. Активный рост корневищ и формирование новых меристематических зон отмечали во второй по-



ловине вегетации после прекращения роста надземных побегов. Подземные побеги в этот период характеризовались сравнительно высокой интенсивностью дыхания (1.3 мгСО<sub>2</sub>/г сухой массы ч), значительным содержанием неструктурных углеводов (15% в сухой массе), повышенной активностью ИУК, цитокининов и АБК. Рост и накопление биомассы корневищами наблюдали до конца октября, когда температура почвы в зоне локализации корневищ снижалась до 5°С. Рост корневищ осуществлялся за счет увеличения числа и длины метамеров, что свидетельствует о продолжении процессов деления и растяжения клеток верхушечных и латеральных меристем подземных побегов осенью. В осенний период выявлено снижение дыхания подземных побегов и увеличение уровня сахаров, особенно олигосахаридов, доля которых составляла 60% от общей суммы углеводов. В период перехода подземных побегов в состояние покоя обнаружено увеличение соотношения ненасыщенные/насыщенные жирные кислоты и возрастание соотношений ГК/АБК и цитокинины/АБК. Зона температурного оптимума роста корневищ находилась в области низких и умеренных положительных температур (5-20°С), а температура замерзания воды в верхушке подземного побега составила около -10°С. Показана способность почек подземных побегов к росту и запасанию энергии в январе, когда температура почвы в зоне обитания корневищ снижается до 0°С и ниже.

В целом, зимой подземные побеги тысячелистника переходят в состояние вынужденного покоя, вызванного пониженной температурой и не связанного с накоплением ингибиторов роста. Высокий уровень гиббереллинов и цитокининов в осенний период может стимулировать формообразовательные процессы, связанные с начальными этапами органогенеза (клеточные деления и дифференцировку тканей латеральных меристем) боковых подземных побегов. Состояние физиологического покоя необходимо для почек корневищ. В этот период происходит перестройка механизма диагравитропизма в отрицательный гравитропизм, после чего почка формирует ортотропный побег. Морфогенетические преобразования почки сопряжены с существенным изменением активности и направленности физиолого-биохимических процессов, необходимых для перехода в вынужденный покой и сохранения жизнедеятельности подземного метамерного комплекса в условиях пониженной температуры.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР ОВОЩНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРЕССОВОГО ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Михайлова И.Д., Лукаткин А.С.**

*ФГБОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,*

*Саранск, Россия*

*E-mail: kariglazayi@yandex.ru*

Биология клеток растений *in vitro* является важным разделом клеточной биологии и современной физиологии растений. Культура клеток высших растений представляет собой удобную модель для изучения молекулярных и клеточных механизмов устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам. Ранее была показана возможность использования каллусных культур огурца в качестве объекта при изучении холодового повреждения;

на этих объектах проведены работы по изучению влияния регуляторов роста на морфогенез и холодоустойчивость эпигенетически различных каллусных линий огурца, получены линии с повышенной холодоустойчивостью. Однако работ по исследованию действия тяжелых металлов (ТМ) на культуры растительных клеток очень немного. В то же время известно, что ответные реакции в растениях и культурах клеток могут сильно различаться. В связи с этим необходимо детальное сравнительное изучение устойчивости растений *in vivo* и культур клеток *in vitro* к ТМ с последующей разработкой способов повышения металлоустойчивости растений.

В работе использовали огурец (*Cucumis sativus* L., сорт Единство) и редис (*Raphanus sativus* L., сорт Красный великан). Для получения каллусной ткани использовали стерильные 7-дневные проростки огурца и редиса, выращенные в асептических условиях на воде. Экспланты (семядольные листья, гипокотиль, корни, конус нарастания) высаживали на питательную среду Мурашиге-Скуга (МС). Через 4–6 недель каллусную ткань пересаживали на среду МС с добавлением  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Pb}^{2+}$  в концентрациях 10 мкМ, 0,1 мМ, 1 мМ, а также  $\text{Zn}^{2+}$  в концентрациях 0,1 мМ, 1 мМ (т.к. в концентрации 10 мкМ ионы  $\text{Zn}^{2+}$  присутствуют в среде МС). В дальнейшем проводили субкультивирование каллусов и в возрасте 4–6 недель определяли окислительные проявления в клетках (скорость генерации супероксидного анион-радикала  $\text{O}_2^-$ , интенсивность перекисного окисления липидов). Показано, что в каллусах гипокотильного происхождения реакция на ТМ более выражена, чем в каллусах от других частей растений. Однако в некоторых случаях значения изучаемых показателей для ТМ были ниже водного контроля, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния ТМ на каллусные клетки. Это показывает потенциальную возможность получения металлоустойчивых линий огурца и редиса. Для этого необходимо провести 5–6 пассажей каллусов на среду МС с содержанием высоких концентраций  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ , с последующей пересадкой на среду без ионов ТМ. Полученные линии металлоустойчивых клеток могут использоваться для регенерации растений.

## **ИНДУКЦИЯ СИНТЕЗА АУКСИНА, ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ПУТЕМ ОБРАБОТКИ ГЛИЦИНОМ**

**Мурашев С.В.**

*Институт холода и биотехнологий*

*Национальный исследовательский университет информационных технологий,  
механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: s.murashov@mail.ru*

Избыточный экзогенный глицин, концентрация которого увеличивается в клетках растений после их обработки его водным раствором, подвергается превращениям, изменяющим метаболизм и энергетику клеток. В митохондриях глицин декарбоксилируется глициндекарбоксилазой и ацетируется сериноксиметилтрансферазой в серин. Избыточный серин распадается до ацетил-КоА, который модифицирует ферментативную систему. Увеличение

концентрации ацетил-КоА тормозит пируватдегидрогеназный комплекс и одновременно активизирует фосфоенолпируваткарбоксилазу (ФЕПК), в результате чего растет концентрация оксалоацетата. Активизация ФЕПК повышает устойчивость растений. Увеличение содержания в клетках оксалоацетата при возросшей концентрации ацетил-КоА создают условия для усиления синтеза цитрата, ингибирующего фосфофруктокиназу. Это подавляет гликолиз и дихотомический путь дыхания в целом, а значит, создает опасность для жизни растения. Ответные реакции направлены на сохранение жизнедеятельности. Во-первых, увеличивается активность цитохромоксидазы, сопряженной с синтезом АТФ, и уменьшается активность оксидаз не сопряженных с синтезом АТФ. В результате сокращается количество энергии выделяемой в виде тепла без создания градиентов концентраций или осуществления синтетических процессов. Во-вторых, замедление активности фосфофруктокиназы направляет распад глюкозы по шунтирующему ПФП дыхания. При эффективной концентрации глицина, по-видимому, достигается оптимальный баланс между двумя дыхательными путями. Рост энергетического потенциала клеток в сочетании с оптимальным соотношением дихотомического и шунтирующего путей повышает синтетические возможности растений, ускоряет прирост биомассы во время вегетации и сдерживает энтропийные процессы. В результате увеличения синтетических возможностей растительных организмов получают усиление постоянно действующие защитные механизмы. Их усиление находит выражение в том, что создаются условия для энергоемкого синтеза веществ, выполняющих защитные функции, таких как воск кутикулы, фенольные соединения, липиды мембран и др. В том числе оптимальное соотношение двух дыхательных путей создает условия для синтеза триптофана. Из триптофана синтезируется ауксин, который стимулирует включение MAP-киназной сигнальной системы. MAP-киназный каскад вызывает экспрессию генов адаптации к стрессовым воздействиям. Под влиянием ауксина повышается устойчивость клеточных стенок растений к действию пектолитических ферментов микроорганизмов.

### **ВЛИЯНИЕ СТЕВИОЗИДА И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И СТРУКТУРУ УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ**

**Невмержицкая Ю.Ю., Михайлов А.Л., Стробыкина А.С., Тимофеева О.А.**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия*

*E-mail: \_nuu76@mail.ru*

В настоящее время большой интерес вызывают природные соединения, часто обладающие специфичной биологической активностью. К таким веществам относятся сладкие дитерпеноидные гликозиды, которые содержатся в растении *Stevia rebaudiana* Bertoni. Ранее проведенные исследования физиологической активности дитерпеновых гликозидов, полученных из растения *Stevia rebaudiana* Bertoni, показали, что стевиозид в наибольшей степени увеличивал рост, вызывал накопление белка и повышение морозоустойчивости озимой пшеницы по сравнению с другими гликозидами. В связи с этим целью нашей работы состояла в исследовании динамики изменений активности лектинов в проростках пшеницы при действии стевиозидов и тяжелых металлов.

Объектом исследования служили растения яровой пшеницы сорта Омская 33. Стевиозид был получен из растительного сырья в ИОФХ им. А.Е. Арбузова в лаборатории фосфорных аналогов природных соединений чл.-корр. РАН В.Ф. Миронова. В первой серии экспериментов контрольные растения выращивали на водопроводной воде в течение 9 сут. В опытных вариантах растения росли на растворе стевиозида ( $10^{-8}$  М) в течение 5 суток, затем их переносили на растворы тяжелых металлов  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{Zn SO}_4$  в концентрации 10 мкМ и 1мМ. Растворимые лектины экстрагировали 0.05 н HCl, лектины клеточной стенки—0.05 % раствором тритона X-100. Лектиновую активность определяли с помощью реакции гемагглютинации с эритроцитами 1 группы крови.

Активность растворимых и связанных с клеточной стенкой лектинов увеличивалась при действии тяжелых металлов как в высокой, так и в низкой концентрации по сравнению с контролем. Предварительная обработка растений стевиозидом приводила к уменьшению влияния тяжелых металлов на активность лектинов в высокой концентрации (1мМ) и снятию их эффекта в низкой концентрации (10 мкМ). Во второй серии экспериментов были проведены полевые испытания стевиозида в Кукморском районе РТ. Были обработаны растения яровой пшеницы Омская 33 на площади 2,8 га в фазе кущения и цветения. Анализ структуры урожая показал, что обработанные стевиозидом растения яровой пшеницы имели большее количество продуктивных стеблей и большую длину колоса. Стевиозид увеличивал количество и массу зерен в колосе. Прибавка урожая составила 18 %.

Таким образом, было установлено, что стевиозид обладает не только рострегулирующей активностью, но и антистрессовой, о чем свидетельствует уменьшение эффекта тяжелых металлов на активность лектинов яровой пшеницы.

## **ВОДНЫЙ СТАТУС СОРТОВ ЯБЛОНИ РАЗЛИЧНОЙ ПЛОИДНОСТИ ПРИ ЗАСУХЕ**

**Ненько Н.И., Киселева Г.К., Караваева А.В., Ульяновская Е.В.**

*Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт  
садоводства и виноградарства, г.Краснодар, Россия,  
E-mail:nenko.nataliya@yandex.ru*

На юге России создание сортов яблони с высокой экологической пластичностью, устойчивых к лимитирующим факторам среды, в частности к летней засухе, является одним из приоритетных направлений в селекции. В связи с этим цель работы—изучить изменение водного баланса у сортов яблони различной ploидности при засухе для выявления адаптационных механизмов устойчивости яблони в условиях Северо-Кавказского региона. Объекты исследований растения яблони диплоидных сортов Рассвет, Фортуна (селекции СКЗНИИСиВ), Эрли Мак, Дейтон (США) и триплоидных—Союз, Родничок (селекции СКЗНИИСиВ). Сравнение сортов по засухоустойчивости проводили в периоды наибольшей напряженности стрессовых факторов, когда наблюдается более тесная корреляция между физиологическими показателями и климатическими факторами, по показателям общей ово-

дненности листьев, содержанию свободной и связанной форм воды, осмопротекторов (сахароза, пролин), строению листовой пластинки, устьичной апертуре. У триплоидных сортов Союз и Родничок более выражены ксероморфные признаки листовой пластинки (увеличение индекса палисадности, количества устьиц и уменьшение их размеров). Оводненность тканей листа у них во время воздействия жары и засухи в летний период, снижается меньше. Так, у диплоидного сорта Рассвет оводненность тканей листа (ОВ) снизилась от 64,24% в июне до 61,87% в июле, а у триплоидного сорта Союз с 65,41% до 63,65% соответственно. Показатель соотношения связанной и свободной форм воды при воздействии водного стресса более стабилен у сортов Рассвет ( $K=1,86-3,83$ ), Союз ( $K=2,88-5,14$ ), Эрли Мак ( $K=3,47-4,46$ ). У диплоидов селекции СКЗНИИСив изменение содержания связанной воды положительно коррелирует с содержанием пролина ( $K_{кор.}=0,95-0,99$ ), селекции США — сахарозы ( $K_{кор.}=0,97-0,99$ ) и у триплоидов — сахарозы и пролина ( $K_{кор.}=0,8-0,86$ ).

Таким образом, триплоидные сорта яблони Союз и Родничок обладают лучшей способностью адаптироваться к засухе, чем изучаемые диплоидные сорта. У триплоидов сохраняется высокая оводненность и устойчивость клеток к обезвоживанию в условиях летних экстремальных температур, отмечены меньшие отрицательные последствия летней засухи, и более быстрое восстановление физиологических функций после нее, более выражены признаки ксероморфной структуры листовой пластинки. Следовательно, увеличение плоидности растений повышает их устойчивость к действию экстремальных условий среды.

## **ВЛИЯНИЕ ЗАСУХИ НА СОДЕРЖАНИЕ УГЛЕВОДОВ И ПРОЛИНА У РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ**

**Николаева М.К., Маевская С.Н.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия  
E-mail: mknikolaeva@mail.ru*

Абиотические стрессоры вызывают у растений ряд изменений, которые проявляются на различных уровнях, от молекулярного до организменного, и отражаются на продуктивности. Засуха является одним из наиболее важных естественных стрессоров. Задачей работы явилось исследование влияния умеренной почвенной засухи на содержание растворимых сахаров, пролина и МДА в листьях молодых растений озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сортов Баллада (высокопродуктивный) и Бельцкая (низкопродуктивный). При действии водного дефицита у обоих сортов изменился углеводный метаболизм. Выявлены значительные различия между сортами в содержании редуцирующих сахаров и сахарозы при воздействии засухи. У сорта Баллада накапливалась только глюкоза (94%) и наблюдалось снижение содержания фруктозы (20%) и сахарозы (35%). У сорта Бельцкая засуха стимулировала накопление глюкозы, фруктозы и сахарозы, соответственно, на 140, 116 и 30%, что могло обеспечить бóльший вклад сахаров в обеспечение осмотического приспособления у этого сорта. Столь значительное увеличение содержания растворимых сахаров обнаруже-

но у сорта Бельцкая, для которого характерна бóльшая потеря воды. Можно предполагать, что различия в накоплении растворимых сахаров у исследованных сортов пшеницы связаны с неоднозначным влиянием засухи на рост листьев. Засуха не влияла на скорость роста листа у сорта Баллада. Уменьшение содержания фруктозы и сахарозы в листьях этого сорта могло быть вызвано их использованием на рост и дыхание. Скорость роста опытных растений сорта Бельцкая снижалась, что приводило к более медленному потреблению фотоассимилятов в процессе роста. Засуха вызывала интенсивное накопление пролина (в 30–40 раз). Содержание МДА при засухе в листьях обоих сортов не повышалось. Эти данные показывают, что в листьях не происходило накопление продуктов перекисного окисления липидов и содержание АФК поддерживалось на уровне контроля. Возможно, интенсивное накопление углеводов и пролина, которые наряду с важной ролью в осмотической регуляции способны также обезвреживать АФК, повышало эффективность работы антиоксидантной системы в целом. Полученные данные позволяют заключить, что в условиях умеренной почвенной засухи система антиоксидантной защиты функционировала достаточно эффективно, в результате у обоих сортов не наблюдалось признаков окислительного стресса.

### **ДЕЙСТВИЕ СЛАБОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ ЛИПИДОВ В ПРОРОСТКАХ, ЛИСТЯХ ВЗРОСЛЫХ РАСТЕНИЙ И СЕМЕНАХ РЕДИСА**

**Новицкая Г.В., Молоканов Д.Р., Сердюков Ю.А., Новицкий Ю.И.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: yinov@ippras.ru*

Изучали влияние слабого постоянного магнитного поля (ПМП) напряженностью ~ 400 А/м на состав и содержание липидов в 5-дневных проростках редиса, листьях взрослых растений и семенах магнитоориентационных типов редиса (МОТ) (*Raphanus sativus* L. var. *radicula* D.C.) сорта «Розово-красный с белым кончиком» — северо-южного (СЮ) и западно-восточного (ЗВ), у которых плоскости ориентации корневых борозд на корнеплоде расположены вдоль или поперек магнитного меридиана. Растения выращивали в оранжевое ИФР РАН. Отбор растений СЮ и ЗВ МОТ производили с помощью секторной рамки, ориентированной относительно стрелки компаса. ПМП создавали кольцами Гельмгольца, питаемыми постоянным током. Контрольные растения выращивали в кольцах Гельмгольца, но ток через них не пропускали, напряженность поля в контроле (ГМП) составляла 31 А/м. Содержание — полярных (ПЛ) и нейтральных (НЛ) липидов определяли методом ТСХ. 90% липидов проростков в контроле составляли НЛ, 80% из которых приходилась на триацилглицерины (ТАГ), 6–9% — на эфиры стероидов и 2–5% на свободные стероиды (СС). 10% от общего содержания липидов (ОСЛ) приходилось на ПЛ. Среди ПЛ обнаружены гликолипиды (ГЛ) — 4.4% (моногалактозилдиацилглицерины (МГДГ), дигалактозилдиацилглицерины (ДГДГ), сульфохинозил-диацилглицерины (СХДГ)) и фосфолипиды (ФЛ) — 6%. ФЛ представлены фосфатидилхолинами (ФХ), фосфатидилэтаноламинами (ФЭ), фосфатидилг-



лицеринами (ФГ), фосфатидилинозитами (ФИ), дифосфатидилглицеринами (ДФГ), а также фосфатидилсеринами (ФС). В листьях растений ПЛ и НЛ представлены теми же классами, что и липиды 5-дневных проростков. В ПМП в проростках редиса уменьшилось ОСЛ, в том числе НЛ на 20%. Содержание ПЛ увеличилось, а содержание ФЛ и СС уменьшилось, отношение ФЛ/СТ—увеличилось. В листьях СЮ МОТ ПМП уменьшило содержание ОСЛ, также содержание ПЛ и НЛ. В листьях ЗВ МОТ содержание тех же фракций увеличилось. Содержание ФЛ у СЮ МОТ увеличилось у ЗВ МОТ уменьшилось. Отношение ФЛ/СТ—показатель жидкостности липидного бислоя мембран у СЮ МОТ увеличилось, у ЗВ МОТ не изменилось. В семенах СЮ МОТ ПМП уменьшило ОСЛ за счет уменьшения НЛ, а именно ТАГ. Содержание ПЛ увеличилось за счет МГДГ, содержание ФЛ не изменилось. У ЗВ МОТ поле уменьшило содержание ОСЛ, а также ПЛ, а именно ГЛ. В целом, под влиянием ПМП в проростках, листьях СЮ и ЗВ МОТ и семенах наибольшим изменениям подвергались среды ГЛ—МГДГ входящие в состав реакционного центра фотосистемы I, а среди фосфолипидов—ФХ и ФГ, который входит в состав бислоя мембран хлоропластов.

### ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЛИПИДОВ И ПИТАТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ ЗЕЛЕНОГО КРИОКОРМА

**Нохсоров В.В.<sup>1</sup>, Столбикова А.В.<sup>2</sup>, Перк А.А.<sup>1</sup>, Соколова Н.А.<sup>2</sup>, Чепалов В.А.<sup>1</sup>,  
Дударева Л.В.<sup>2</sup>, Петров К.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

<sup>2</sup> ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,  
Иркутск, Россия

E-mail: [NohVasyaVas@mail.ru](mailto:NohVasyaVas@mail.ru)

Изучали жирнокислотный состав 2-х видов зимнезеленых кормовых хвощей Якутии: *Equisetum variegatum* Schleich. ex Web. (хвощ пестрый) и *E. scirpoides* Michx. (хвощ камышковый), а также *Eriophorum vaginatum* L. (пушица влагалищная). Данные растения относятся к ценным нажировочным кормам для травоядных животных в зимний период, особенно для лошадей во время тебеневки, а также северного оленя. В естественных условиях суровой зимы в Якутии они подвергаются консервации низкими температурами, становятся зеленым криокормом. Предполагается, что их высокие кормовые свойства связаны со значительным накоплением жирных кислот (ЖК) при подготовке растений к зиме. Найдено, что высокая степень ненасыщенности ЖК хвощей обусловлена, в основном, двумя кислотами— $\alpha$ -линоленовой и линолевой. У *E. variegatum* содержание их составляло  $39,7 \pm 1,1\%$  и  $11,3 \pm 0,6\%$  от суммы всех ЖК соответственно: у *E. scirpoides*— $37,1 \pm 1,7\%$  и  $12,9 \pm 1,4\%$ . Известно, что именно повышенное содержание диеновых и триеновых кислот 18:2 $\omega$ 6 и 18:3 $\omega$ 3 осуществляет биохимическую адаптацию растений к низкой температуре. Из  $\omega$ 9-ЖК у исследуемых хвощей обнаружены моноеновые кислоты—пальмитолеиновая, олеиновая и эйкозаеновая. Также в надземной части хвощей впервые идентифицирована 5,11,14,17-эйкозатетраеновая кислота: у *E. variegatum*— $2,4 \pm 0,4\%$ , *E.*



*scirpoides*— $1,9\pm 0,2\%$  от суммы ЖК. Индекс двойных связей (ИДС), характеризующий степень ненасыщенности ЖК, составлял у *E. variegatum*—1,86, *E. scirpoides*—1,75, а коэффициент ненасыщенности (К)—0,41 и 0,53 соответственно.

Пушица влагалищная исключительно устойчива к низкотемпературному фактору, рано начинает вегетацию и продолжает ее до поздней осени, сохраняя до 50% надземной массы в зеленом состоянии под снегом. У *E. vaginatum* зимой линолевая и  $\alpha$ -линоленовая кислоты также являются основными ЖК, составляя:  $25,0\pm 2,6\%$  и  $24,7\pm 2,9\%$  соответственно. Также в зимнем растении обнаружены пальмитолеиновая, олеиновая и эйкозаеновая ЖК, в сумме равные  $7,3\pm 0,8\%$ . Показатель ИДС у пушицы достигал 1,31, а К—0,73.

Ранние исследования растений Якутии показали, что у осенне-вегетирующих видов местной флоры может накапливаться высокое содержание растворимых углеводов (от 9,0 до 14,5% сухой массы). По нашему мнению, большая питательная ценность изученных видов хвощей и пушицы обусловлена не только этим, но и наличием в них значительного количества полиненасыщенных ЖК.

## РОЛЬ ФАКТОРОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ В ОТВЕТАХ РАСТЕНИЙ НА ZN И CD ВОЗДЕЙСТВИЕ

Осмоловская Н.Г., Кучаева Л.Н., Лю.Жуй, Попова Н.Ф.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: natalia\_osm@mail.ru

Действие повышенных концентраций ТМ вызывает у растений множественные нарушения физиологических процессов и сопровождается торможением роста и сокращением биомассы. Однако такие растения как рапс проявляют повышенную устойчивость к действию ТМ и способность к накоплению относительно высоких концентраций, в частности, Zn и Cd, без видимых признаков отравления, что делает их перспективными объектами для целей фиторемедиации. Вместе с тем, уровни аккумуляции отдельных ТМ, регистрируемые разными авторами в органах рапса при одинаковых концентрационных воздействиях, сильно варьируют, что делает актуальным рассмотрение вопроса о возможной роли факторов минерального питания в проявлении ответных реакций растений на действие ТМ. В этой связи нами исследовано влияние уровня обеспеченности макроэлементами, формы источника азота и уровня pH среды на поступление и распределение Zn и Cd в 35 дн растениях рапса *Brassica napus* L. сорта Вестар в условиях водной культуры. Показано, что при культивировании растений на полном питательном растворе 7 сут воздействие 100 мкМ Cd или 300 мкМ Zn приводило к интенсивной аккумуляции обоих ТМ преимущественно в корнях рапса (Cd—10700, а Zn—11900 мкг/г сухой биомассы) при умеренном переносе ТМ в побег с достижением в листьях и стеблях более высоких уровней Cd (426 и 543), по сравнению с Zn (156 и 149 мкг/г). Воздействие тех же концентраций ТМ на фоне 10-кратного снижения содержания макроэлементов в среде вызвало разнонаправленную ответную реакцию растений, которая для Zn выразилась в 3-кратном снижении,

а для Cd— в 1,4 кратном увеличении поступления и аккумуляции ТМ в корнях. Одновременно было отмечено заметное усиление переноса Zn в побег с его локализацией преимущественно в стеблях (739 мкг/г), но не в листьях (73 мкг/г), тогда как перенос Cd в надземные органы, напротив, тормозился в 2 и в 3,5 раза, что позволяет предполагать различия в стратегиях устойчивости рапса к действию Zn как эссенциального и Cd—как неэссенциального ТМ. В этой связи показательна сходная реакция в части поступления и распределения Zn у контрольных растений в ответ на дефицит макроэлементов в среде, что может быть отражением функциональной сопряженности процессов регуляции мембранного транспорта макро- и микроэлементов и поддержания их внутриклеточного гомеостаза, в то время как для Cd<sup>2+</sup>, поглощаемого с использованием транспортных механизмов других катионов (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>), условия минерального дефицита обеспечивают снижение конкурентного и протекторного действия последних. Различия в уровнях pH среды (4,5 или 6,9) в условиях полной обеспеченности макроэлементами не повлияли на аккумуляцию ТМ в корнях рапса, однако перенос Zn в листья и Cd- в стебли существенно (до 7 раз) усиливался на фоне низкого значения pH. Иной характер влияния pH наблюдался в 3 сут модельных экспериментах на фоне раствора KNO<sub>3</sub> (5мМ), где аккумуляция обоих ТМ в корнях при pH 4,5 снижалась в среднем до 1,4 раза, а их перенос в стебли, напротив, осуществлялся интенсивнее, чем при pH 6,9. Эти данные дают основание полагать, что дискутируемые конкурентные отношения между ТМ и H<sup>+</sup> за сайты связывания в клеточных стенках корней могут заметно ограничить приток ТМ только на фоне низкой обеспеченности растений макрокатионами (в частности, Ca<sup>2+</sup>), тогда как в условиях достаточности минерального питания роль pH в регуляции поглощения ТМ минимизирована. С другой стороны, не исключено, что стимуляция переноса ТМ в побег, отмеченная при низких значениях pH среды, может вызываться торможением секреции из корней органических кислот и их более активным вовлечением во внутриклеточное хелатирование и перенос ТМ в надземные органы. Это подтверждают и данные об увеличении содержания сукцината и малата в листьях рапса под влиянием воздействия Zn на фоне pH 4,5 до 4 раз, и Cd—до 2 раз по отношению к pH 6,9, что свидетельствует в пользу возможного вовлечения органических кислот в ответную реакцию растений рапса на действие ТМ, более выраженную для Zn, путем формирования их нетоксичных комплексов с ионами ТМ. Оценка роли формы источника азота в процессах поступления и локализации ТМ, выполненная в 3-х сут модельных экспериментах с использованием растворов KNO<sub>3</sub> или (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, выявила стимуляцию накопления Zn и Cd в корнях рапса соответственно на 70% и 60% под действием аммонийного азота в сравнении с нитратом при отсутствии эффекта в отношении переноса этих ТМ в надземную часть растений. Учитывая роль нитрата как индуктора синтеза органических кислот в растениях, отмеченная реакция растений может определяться альтернативным торможением синтеза органических кислот в присутствии аммония и снижением их секреции корнями как механизма экстраклеточного хелатирования и ограничения притока ТМ в корни растений. Заключается, что совокупное воздействие ряда стрессовых факторов, которому растения подвергаются в естественной среде, может быть существенным для реализации их ответных реакций на действие ТМ и требует более глубокого исследования. В докладе обсуждается функциональная роль факторов минерального питания в механизмах устойчивости растений к действию ТМ и их значимость для оптимизации физиологических процессов, обеспечивающих эффективность использования растений в целях фиторемедиации.

**СТРЕССОРНЫЙ ОТВЕТ РАСТЕНИЙ ТАБАКА, ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ  
СМЫСЛОВЫМ ГЕНОМ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ, НА ДЕЙСТВИЕ НИЗКОЙ  
ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**Павлючкова С.М.**

*ГНУ «Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси», Минск, Беларусь  
E-mail: svetlanapavluchkova@yandex.ru*

В экспериментах использовали 4-й лист 45-дневных проростков табака (*Nicotiana tabacum* L.), трансформированных смысловым геном митохондриальной или хлоропластной супероксиддисмутазы (Mn-SOD или Fe-SOD соответственно) арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* L.), а так же растений дикого типа (SNN). Семена трансформантов были любезно предоставлены профессором Б. Гриммом (Берлинский университет им. А. Гумбольдта, Германия). Растения выращивали в пластмассовых емкостях под люминесцентными лампами белого света Philips TL-D 36W/765 в режиме 14 ч света (интенсивность 160 мкмоль квантов·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>) и 10 ч темноты при температуре 25±2°C и относительной влажности воздуха 50–60%. Низкотемпературный стресс моделировали, помещая растения в холодильную установку при температуре +4°C в течение 22 ч с фотопериодом и интенсивностью освещения, соответствующему выращиванию растений в нормальных условиях. Затем растения помещали в нормальные условия выращивания на 24 ч (постстрессовый период). Контролем служили трансгенные растения табака и растения дикого типа, не подвергавшиеся стрессовому воздействию.

Установлено, что трансгенные по Mn-SOD и по Fe-SOD растения табака обладают повышенной холодоустойчивостью по сравнению с растениями дикого типа. Как следует из данных по содержанию ТБК-продуктов, уровня активных форм кислорода и проницаемости плазмалеммы к электролитам и свободным нуклеотидам одной из причин холодоустойчивости трансформантов является их способность сохранять окислительный гомеостаз в условиях низкотемпературного стресса и в постстрессовый период. Так, в условиях низкой положительной температуры трансформанты накапливают большее количество антиоксидантов — аскорбата, глутатиона и α-токоферола, чем дикий тип. Помимо этого, повышенный уровень экспрессии хлоропластной Fe-SOD или митохондриальной Mn-SOD приводит к повышению активности основных антиоксидантных ферментов — аскорбатпероксидазы и глутатионредуктазы по сравнению с диким типом, как при низкотемпературном стрессе, так и в период восстановления растений после прекращения действия стрессового фактора. Трансформанты Mn-SOD характеризуются также и повышенной активностью каталазы в стрессе и в постстрессовый период. Анализ параметров индукции флуоресценции хлорофилла, а также содержания фотосинтетических пигментов под воздействием низких температур существенных различий в трансформантах и диком типе не выявил.

**ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ АПОПЛАСТА В ЛИСТЯХ ХРУСТАЛЬНОЙ ТРАВКИ  
ПРИ ДЕФИЦИТЕ ЖЕЛЕЗА И ДЕЙСТВИЯ NaCl****Парамонова Н.В.***ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва**E-mail:paranova@mail.ru*

Ранее нами было показано, что при отсутствии в питательной среде Fe в течение двух недель, у растений которым одновременно давали NaCl, наблюдалась высокая степень развития плазмалеммы и тонопласта. Было высказано предположение, что развитие плазмалеммы и тонопласта у хрустальной травки, является адаптивным признаком, приобретенным галофитом при росте на засоленных почвах, благодаря которому растения в условиях стресса обеспечиваются основными элементами минерального питания. Представляло интерес выяснить, будут ли изменяться в этих условиях клеточные стенки (КС), которые также принимают участие в транспорте веществ. С этой целью исследовали растения, которые первые 6 недель росли на полной питательной среде, содержащей (6 мкМ Fe<sup>+3</sup>), а далее в течение двух недель росли без Fe—контроль (-Fe), во втором варианте (-Fe + NaCl) растения также росли без Fe, но в присутствии последние 8 дней 300 мкМ NaCl.

Сравнение ультраструктуры КС в 2-х вариантах показало, что в контроле (-Fe) в КС не наблюдалось четко выраженной срединной пластинки (СП), состоящей из пектиновых веществ, которая обычно темнее, чем сама КС. Оболочка между двумя клетками была однородной по плотности. Кроме того, на КС, обращенных в межклетник, располагался тонковолокнистый материал, и иногда небольшие группы темного гранулярного вещества. В варианте (-Fe + NaCl) СП отчетливо выделялась как в области соединения двух клеток, так и в КС образующих межклетник. Она была значительно темнее по сравнению с КС и по толщине в 2 раза превосходила КС. Нередко в местах соединения клеток в области СП образовывался щелевидный просвет, а далее происходило отдаление КС друг от друга. Впоследствии, образовавшееся между клетками пространство, заполнялось гомогенным материалом средней плотности.

Тот факт, что увеличение объема апопласта за счет утолщения СП, а также заполнения полисахаридами компартментов, образуемых между КС, наблюдалось только во 2-ом варианте (-Fe + NaCl) указывает на то, что NaCl индуцирует образование пектиновых веществ. Основным компонентом пектиновых веществ является полигалактуроновая кислота, благодаря которой КС имеет отрицательный заряд. Увеличение свободных карбоксильных групп уруновых кислот в апопласте, по-видимому, может способствовать секвестрации токсичных ионов (Na<sup>+</sup>). Кроме того, рост объема апопласта у хрустальной травки, очевидно, позволяет растениям в условиях засоления аккумулировать больше H<sub>2</sub>O.

**ОБ УЧАСТИИ ПЛАСТОГЛОБУЛ ХЛОРОПЛАСТОВ В ДЕПОНИРОВАНИИ FE****Парамонова Н.В.***ФГБУН Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва**E-mail: paranva@mail.ru*

В данной работе рассматриваются причины повышения электронной плотности пластоглобул в Хл при выращивании растений хрустальной травки на полной питательной среде с высокой концентрацией Fe. Для исследования растения в 6-ти недельном возрасте разделили на 2 группы. Контрольная группа продолжала расти еще 3 недели на среде, содержащей 6  $\mu\text{M}$   $\text{Fe}^{+3}$  комплекса  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ –ЭДТА (pH 6.0), другой группе на следующие 3 недели концентрацию железа в среде повысили до (100  $\mu\text{M}$   $\text{Fe}^{3+}$ )— вариант 2.

Как показали исследования, в контроле Хл содержали пластоглобулы различной электронной плотности— темные, средней плотности, и светлые. При 6  $\mu\text{M}$  Fe преобладали последние две группы пластоглобул, темных было меньше всего, и встречались они не во всех Хл. В матриксе Хл изредка наблюдались гранулы ферритина, находящиеся на большом расстоянии друг от друга.

В варианте со 100  $\mu\text{M}$  Fe отчетливо повышалась электронная плотность пластоглобул. На неокрашенных срезах они были черного цвета и средней плотности, светлые пластоглобулы отмечались очень редко. Если срез проходил по краю пластоглобул, они выглядели средней плотности и в них были видны более контрастные гранулы ферритина. В средней части пластоглобулы были контрастными и, возможно, поэтому гранулы ферритина были видны только по краю пластоглобул. В таких случаях пластоглобулы имели неровные очертания. При высоком содержании Fe в среде ферритин отмечался значительно чаще, чем в контроле. В матриксе Хл наблюдались либо слабо очерченные ряды из небольших гранул ферритина, либо от 1 до нескольких групп из мелких гранул.

Полученные данные подтверждают предположение о том, что пластоглобулы могут быть местом отложения Fe. Так как молекулы ферритина идентифицируются в электронном микроскопе благодаря находящемуся в них Fe, имеющего вид электронно-плотных частиц, сильное возрастание контраста пластоглобул при 100  $\mu\text{M}$  Fe, может быть также обусловлено депонированием в них Fe. Тесная связь Fe-аккумулирующего белка ферритина с пластоглобулами также косвенно указывает на это. Ранее нами было высказано предположение о том [Парамонова, 2010], что при избытке Fe пластоглобулы могут накапливать пул железа, который используется апоферритином (ферритиновым белком, не имеющим Fe). По мере обогащения ядер апоферритина железом, полученным из пластоглобул, он превращается в ферритин. На более значительное поглощение Fe в варианте 2 указывает и образование бóльшего количества ферритина.

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА  
ФОРМИРОВАНИЯ ЗЕЛЕННОГО КРИОКОРМА**

**Петров К.А., Перк А.А., Чепалов В.А., Иванов Б.И.**

*ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия*

*E-mail: kap\_75@bk.ru*

В предзимний период под воздействием закаливающих факторов в растениях происходит накопление питательных веществ (белки, углеводы, липиды), а также ряда низко- и высокомолекулярных антиоксидантов, что приводит к повышению их кормовой ценности. В частности, при адаптации растений к низким температурам в клетках существенно изменяется состав липидов, в том числе за счет увеличения степени ненасыщенности жирных кислот (ЖК), происходит изменения в содержании ряда растительных пигментов. Особый интерес представляют исследования, связанные с изучением жирнокислотного и пигментного состава одно- и многолетних кормовых травянистых растений Якутии — региона, где имеются неограниченные ресурсы природного холода для консервации растений — криокормов. Естественные (отава многих осенневегетирующих травянистых растений и зимне-зеленые хвощи) и искусственные (позднесеянные злаки на зеленку) посевы могут являться ценным источником наживочных кормов для сельскохозяйственных животных.

Известно, что арктофилево-пушицевые и хвощовые луга Яно-Индигирского флористического района и злаково-осоковые избыточно-увлажненные и заболоченные аласные луга Центрально-Якутского флористического района подвергаются длительному ежегодному заливанию паводковыми водами. В этих условиях растение не успевает пройти полный цикл роста и развития, поэтому они активно вегетируют не только во второй половине лета, но и в осенний период. Осенневегетирующие растения сохраняются до глубокой осени в зеленом виде и в таком состоянии уходят под снег, создавая хорошую кормовую базу. Также возможно создание специальных посевов однолетних культурных злаков (овес, ячмень) позднего срока сева (вторая половина лета), когда вегетирующие растения убираются в зеленом состоянии в предзимний период при первых заморозках. Это позволяет сохранить в них достаточное количество углеводов, липидов, а также каротиноидов и хлорофилла, повышающих качество кормов. Теоретической основой, объясняющей особенности формирования зеленого криокорма, является экологическая физиология растений. На основе идей и методов физико-химической биологии, соединенных со специфическими для физиологии методами исследования, выясняются все более тонкие механизмы таких эколого-физиологических явлений, как низкотемпературный стресс и низкотемпературная адаптация, в течение которых растение увеличивает свою холодо- и морозоустойчивость, одновременно формируя повышенную кормовую ценность для травоядных животных.

**ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
НА ИЗМЕНЕНИЕ ЛИПИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ КУТИКУЛЫ ЛИСТЬЕВ  
*POPULUS DELTOIDES* MARSH. И *TILIA CORDATA* MILL.**

**Писковая О.Н., Гришко В.Н.**

*Криворожский ботанический сад Национальной академии наук Украины*

*E-mail: piskovajaolga@rambler.ru*

Доминирующий фактор, влияющий на развитие растений промышленных центров — загрязнение окружающей среды токсическими соединениями промышленного происхождения. В ответ на их воздействие у растений происходят адаптационные изменения в органах, в частности в листьях, которые непосредственно контактируют с поллютантами. Важную роль в регуляции проникновения токсикантов в растение имеет кутикула листа. Целью работы было исследование особенностей накопления Zn, Ni, Pb и Cd в листьях древесных растений и их влияние на состав кутикулярных липидов.

Объекты исследования — тополь канадский (*P. deltoides* Marsh.) и липа сердцелистная (*T. cordata* Mill.), произрастающие на ЗАТ «Криворожский суриковый завод» (зона сильного загрязнения) и в дендрарии Криворожского ботанического сада НАНУ (условный контроль). Листья отбирали в фазу полного обособления листа (I фаза) и на 5–10 сутки фазы завершения роста листа (II фаза). Тяжелые металлы определяли на атомно-адсорбционном спектрофотометре, а состав липидов — методом тонкослойной хроматографии.

В условиях загрязнения *P. deltoides* наиболее интенсивно накапливал Zn, концентрация которого превышала контроль в 13 и 23 раза (в I и II фазу соответственно), тогда как уровень Pb и Cd возрастал в 6–8 раз. *T. cordata* максимально аккумулировала Cd, в то время как количество других металлов не превышало более чем в 3 раза показатели контроля.

При изучении фракционного состава кутикулярных липидов у *P. deltoides* в условиях загрязнения было обнаружено снижение до 6% содержания фосфолипидов, сопровождавшееся увеличением количества свободных жирных кислот (на 11–12%), эфиров стерина (на 7%) и стерина (на 6%), а так же синтезированием триглицеридов, тогда как диглицериды не идентифицировались. В отличие от этого, в листьях *T. cordata* были обнаружены фосфолипиды, эфиры стерина и диглицериды. По сравнению с контролем, количество первых двух классов увеличивалось на 10 и 6% соответственно, тогда как концентрация последних изменялось незначительно.

В заключение отметим, что в условиях загрязнения на протяжении всего морфогенеза листа максимальное количество тяжелых металлов накапливал *P. deltoides*, что приводило к существенному изменению содержания практически всех фракций липидов, а так же к исчезновению диглицеридов и синтезу триглицеридов.



**БИОРАЗНООБРАЗИЕ НАСАЖДЕНИЙ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО  
ПО КОМПЛЕКСУ ПРИЗНАКОВ ВТОРИЧНОГО ОБМЕНА.  
ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ЛИСТОГРЫЗУЩИМ НАСЕКОМЫМ**

**Полякова Л.В., Гамаюнова С.Г., Журова П.Т.**

*Украинский НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации им. В.М.Высоцкого, г. Харьков*

*E-mail: polyarova\_lv@mail.ru*

Проблема деградации насаждений дуба черешчатого (*Quercus robur*) приобрела актуальность в последние десятилетия, так как во многих странах отмечено масштабное усыхание насаждений относительно молодого (для данной породы) возраста—40–50 лет. Одним из вариантов изучения причин данного явления может быть сравнительный биохимический и энтомологический анализ насаждений, произрастающих в одном местообитании, но различающихся степенью устойчивости к неблагоприятным внешним факторам.

Такое сравнение было выполнено для насаждения 200–300-летнего возраста, занимающего основную территорию НПП «Святые горы» (Донецкая область, Украина), и 55-летней культуры, созданной из семян местной репродукции и произрастающей на территории парка. Особенностью данной культуры является отмеченное около 6–7 лет назад начало усыхания отдельных деревьев, достигнувшее к 2012 г. 14–16% состава культуры. Так как усыхание кроны на 40–90% отмечается для деревьев практически не уступающих по высоте и по диаметру внешне здоровым деревьям, их нельзя отнести к угнетенным и, следовательно, выпадающим из состава популяции вследствие естественного отбора. Сам процесс усыхания, вероятно, начался относительно недавно, когда деревья сформировали характерные для данного насаждения ростовые показатели.

Сравнительное биохимическое изучение было проведено для деревьев 200–300-летнего возраста (16 особей) и 55-летней культуры (24 особи). С каждого дерева были собраны побеги нижнего яруса южной экспозиции, сбор проведен в один день со всех деревьев. Состояние листьев по степени повреждения различными видами листогрызущих насекомых оценивали для каждого дерева. Для биохимического анализа использовали по 6 листьев, которые в день сбора фиксировали в кипящем этаноле для предотвращения действия разрушающих флавоноиды оксидаз.

Биохимические анализы выполнены общепринятыми методами: содержание белка (Б) определяли по осаждению амидо-черным; содержание группы флавоноловых гликозидов (ФЛ) определяли по реакции с ALCL<sub>3</sub>; содержание свободной формы конденсированных танинов (КТ) определяли по реакции с ванилиновым реактивом; связанную форму конденсированных танинов (проантоцианидины — ПА) определяли гидролизом растительного остатка смесью бутанол-НС; гидролизуемые танины (ГТ) определяли методом окраски ферро-цианид комплексом. Для разделения групп веществ растительный образец последовательно экстрагировали 96% этанолом (1-я фракция, ФЛ), затем 50%-ным этанолом (2-я фракция, КТ, ГТ). Растительный остаток 2-й фракции гидролизовали смесью бутанол-НСЛ (ПА).

Энтомологический анализ, проведенный 07.07.2012 г. выявил в кронах деревьев обоих насаждений заметное присутствие 4-х видов листогрызущих насекомых, из которых доминировали виды: *Altica quercetorum* (дубовый блошак) и *Erannis defoliaria* (пяденица обдирало обыкновенная). Однако активность расселения этих видов насекомых в кронах многовековых деревьев и молодой культуры оказалась различной. Если *A. quercetorum* в среднем показал степень повреждения листьев 200–300-летних деревьев на уровне 6%, то в кронах 55-летней культуры этот показатель составил 13.6%, причем активность в отдельных деревьях могла достигать 30–50% повреждения листьев. *E. defoliaria* также была более активной в кроне деревьев культуры, причем это различие было 6-ти кратным, так как в среднем повреждение этим вредителем составило в культуре 5.4%, а в группе многовековых деревьев лишь 0.87%.

Биохимические данные показали, что содержание почти всех (за исключением группы ФЛ) групп веществ в листьях деревьев сравниваемых насаждений достоверно отличаются. При этом содержание Б было выше в листьях многовековых деревьев, а содержание ГТ (количественно ведущая группа вторичных веществ в листьях), напротив было ниже. Различия по уровню содержанию этих веществ составили 6% для Б и 23% для ГТ. Наиболее существенное различие отмечено для КТ в свободной и связанной с клеточными структурами форме — ПА. В листьях многовековых деревьев уровень этих веществ был на 250–200% соответственно выше, чем в листьях деревьев 55-летней культуры.

Различия в степени повреждения листьев побегов насекомыми и тенденции в изменении биохимических показателей рассматривались во взаимосвязи для каждого насаждения. В первую очередь выделили деревья, повреждение листьев которых вызвано преимущественно лишь одним из двух доминирующих видов — *A. quercetorum* либо *E. defoliaria*. Оказалось, что каждый из этих видов в качестве растения-хозяина выбирает генотипы с разными биохимическими характеристиками. Если *A. quercetorum* расселяется преимущественно на деревьях с высоким содержанием Б в листьях и низким содержанием ГТ, то *E. defoliaria*, напротив, способен активно заселять деревьях с низким содержанием Б в листьях и высоким содержанием ГТ.

Эта направленность четко проявляется как среди деревьев многовекового насаждения, так и 55-летней культуры. На деревьях промежуточных биохимических характеристик могут расселяться оба вида насекомых с разной долей участия, в зависимости от сдвига уровня Б и ГТ в сторону ниже или выше среднего для насаждения уровня.

Учитывая многочисленные литературные данные о том, что ГТ относится к «антипитательной» группе веществ, снижающих для многих видов листогрызущих насекомых пищевую ценность листьев растения, уделили особое внимание этой группе. Нетипичным в этом плане оказалось поведение *E. defoliaria*, которые предпочитают расселяться на деревьях с более высоким уровнем синтеза этой группы веществ, но при этом с пониженным уровнем Б. Вероятно, это свойство повышает конкурентную способность вида в выборе растения-хозяина при большом генотипическом разнообразии деревьев любого насаждения.

Ранее аналогичный выбор деревьев с высоким уровнем ГТ в листьях наблюдался в насаждении дуба пушистого (*Quercus pubescens*), листья которого активно повреждаются во

время распускания почек личинками *Tortrix viridana* (зеленая дубовая листовертка). Этот вредитель наносит большой ущерб деревьям дуба пушистого в Крыму.

Следовательно, возможность успешного выживания в условиях повышенного уровня «антипитательной» для большинства насекомых группы веществ оказывается необходимым для выживания в условиях конкуренции за более ценные в питательном отношении источники — деревья с повышенным уровнем Б и пониженным ГТ в листьях. В этом случае получает объяснение ситуация, когда при снижении уровня содержания Б (на 6%) и повышении уровня ГТ (на 23%) в листьях деревьев молодой 55-летней культуры по сравнению с многовековыми деревьями, наблюдается повышение степени повреждения *E.defoliaria* листьев деревьев культуры в 6 раз, в то время, как повреждаемость *A.querquetorum* увеличилась лишь в 2 раза.

Значительно более активное расселение обоих видов насекомых в кроне деревьев 55-летней культуры может быть одной из причин усыхания части деревьев, причем оказалось, что усыхающая группа деревьев отличается более высоким уровнем накопления Б и пониженным ГТ по сравнению с группой здоровых деревьев, что совпало также с повышенной активностью *A.querquetorum* в группе усыхающих деревьев.

При сравнении биохимических показателей двух насаждений обращает на себя внимание также значительно более низкий уровень синтеза конденсированных танинов, как в свободной (КТ), так и связанной форме (ПА) в листьях деревьев 55-летней культуры. В ряде зарубежных исследований изучается влияние разных групп вторичных веществ на выживаемость и величину массы личинок насекомых, питающихся листьями деревьев. Часто учитывается влияние таких групп, как ГТ и КТ. В работах по видам дуба — *Q.alba* и *Q.dentata*, было показано, что более существенное влияние на снижение массы личинок и их выживаемость оказывает группа КТ.

Так как в листьях деревьев 55-летней культуры синтезируется в 2,5 раза меньше КТ и в 2 раза меньше связанной формы (ПА), вероятность выживания и более успешного развития личинок насекомых повышается. Далее это приводит к более активному расселению данных видов насекомых в кронах деревьев культуры, намного опережающему в этом плане многовековые деревья.

Значительное варьирование количественных показателей содержания разных групп вторичных веществ создает в любом насаждении определенное генотипическое разнообразие особей, что позволяет с разной степенью активности расселяться в кронах деревьев разным видам листогрызущих насекомых. Детальное изучение отличий природной популяции тополя узколистного и культурной плантации вида в плане генетического разнообразия, особенностей накопления вторичных веществ и отличий в расселении вредителей на листьях деревьев было предпринято группой американских ученых. Основным выводом исследования заключался в том, что важнейшее значение для снижения активности вредителей имеет генетическое разнообразие деревьев насаждения, способное предотвратить чрезмерное расселение отдельных видов насекомых, что особенно опасно для более узкого генетического разнообразия деревьев культурной плантации. В этом плане намного

успешнее справляется с атаками насекомых природное насаждение, обладающее значительно более высоким разнообразием по сравнению с культурой.

Аналогичная ситуация наблюдается при сравнении многовекового насаждения деревьев и 55-летней культуры. Отличие в степени расселения наиболее агрессивных в год наблюдения видов — *A. quercetorum* и *E. defoliaria* сопровождается значительно более высоким генотипическим разнообразием многовековых деревьев по сравнению с культурой, что создается разнообразными сочетаниями количественных пропорций изучавшихся групп веществ — Б, ФЛ, ГТ, КТ, ПА. Это различие четко выявляет дискриминантный анализ, с помощью которого возможно сопоставление отдельных особей по совокупности целого ряда признаков. Данный анализ показал широкий разброс в поле канонических осей 16-ти многовековых деревьев и, напротив, концентрацию 24-х деревьев 55-летней культуры в небольшой зоне этого поля. Если рассматривать особенности количественного уровня всех определявшихся групп веществ как отражение генотипических особенностей каждой особи, то анализ показывает значительное сужение такого разнообразия в молодой культуре по сравнению с сохранившимися до настоящего времени многовековыми деревьями.

Если попытаться оценить разнообразие только по коэффициентам вариации признаков, то такой результат был бы невозможен, так как по отдельности варибельности почти всех признаков в обоих насаждениях имеют близкие значения. Таким образом, изучение содержания нескольких групп вторичных веществ с использованием популяционного подхода к сбору материала для анализа, позволяет получить представление о биоразнообразии особей популяций. В свою очередь сочетание разных биохимических признаков с показателями биотических повреждений позволяет выявить влияние разных групп веществ на активность и направление действия повреждающих факторов.

## **СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА АЗОТА В ЛИСТВЕННИЦЕ ГМЕЛИНА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

**Попова А.С.<sup>1</sup>, Сугимото А.<sup>2</sup>, Максимов Т.Х.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>*Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия*

<sup>2</sup>*Университет Хоккайдо, Саппоро, Япония*

<sup>3</sup>*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия*

*E-mail: alexandrapopova@yandex.com*

Ограниченная доступность азота в северных экосистемах известна. В предыдущих работах было показано, что лиственница использует только минеральные формы азота и не усваивает его в виде аминокислот. Процесс минерализации органического азота в почве активируется во второй половине вегетационного периода (в конце июля — начале августа). Целью нашей работы было исследование сезонной динамики накопления и аллокации азота в растении.

Исследование проводилось в лиственничном лесу на станции Спасская Падь в окрестностях г. Якутска в 2006–2007 и 2009–2010 годах.

Для исследования усвоения и аллокации почвенного азота использовался метод изотопной метки ( $^{15}\text{N}$ ) в виде 2мМ водного раствора сульфата аммония (100 мл на дерево). Раствор распределялся в прикорневой зоне подростка на поверхности минерального слоя почвы однократно. Метка вносилась в середине вегетационного периода (20 июля 2006), а также в начале (25 мая 2009 года). Было показано, что в начале вегетационного периода усвоенный азот локализуется в новой хвое и ветках, а с середины вегетационного периода наблюдалось накопление азота в многолетних органах.

### **ЭКСПРЕССИЯ $\text{Na}^+$ -АТФАЗЫ МОРСКИХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ В КЛЕТКАХ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ИХ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ**

**Попова Л.Г.<sup>1</sup>, Маталин Д.А.<sup>1</sup>, Балнокин Ю.В.<sup>1,2</sup>**

*<sup>1</sup>Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, Москва, Россия.*

*<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия.*

*E-mail: lora\_gp@mail.ru*

Использование засоленных почв для выращивания хозяйственно значимых растений предполагает придание этим растениям признака солеустойчивости. Последнее возможно осуществить с помощью генно-инженерных подходов. Несмотря на то, что устойчивость к абиотическому стрессу обусловлена функцией множества генов, повышения солеустойчивости растения можно добиться манипуляциями и с одним геном. В настоящее время достигнуты определенные успехи в создании трансгенных солеустойчивых линий культурных растений. В работах этого направления большое внимание уделяют трансгенам: (1) обеспечивающим продукцию совместимых осмолитов, (2) кодирующим белки, которые отвечают за поддержание низких концентраций  $\text{Na}^+$  в цитоплазме ( $\text{Na}^+/\text{H}^+$  антипортеры плазматической мембраны SOS1 и тонопласта NHX1, вакуолярная пирофосфатаза AVP1, др.). Результатом работ, посвященных созданию трансгенного солеустойчивого растения с помощью генов второй группы, как правило, является растение, в клетках которого низкие цитоплазматические концентрации  $\text{Na}^+$  поддерживаются за счет повышенной аккумуляции этого иона в вакуоли. Такая стратегия избегания высоких концентраций  $\text{Na}^+$  в цитоплазме характерна для соленакапливающих галофитов. Другая стратегия контроля содержания  $\text{Na}^+$  в цитоплазме наблюдается у злаковых. Для последних характерно ограничение входа  $\text{Na}^+$  в клетку и удаление избыточных количеств этого иона в наружную среду, что осуществляется  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  антипортером плазматической мембраны (ПМ). Энергетически функционирование  $\text{Na}^+/\text{H}^+$  антипортера зависит от протонного градиента на ПМ, величина которого определяется активностью  $\text{H}^+$ -АТФазы ПМ и pH наружной среды. В щелочных средах антипортер ПМ не может эффективно удалять  $\text{Na}^+$  из цитоплазмы.

Na<sup>+</sup>-транспортирующий фермент галотолерантных микроводорослей — Na<sup>+</sup>-АТФаза, работа которой не зависит от протонного градиента на мембране, может быть перспективным ресурсом для создания трансгенных растений, способных расти на соленых и одно- временно щелочных почвах. Na<sup>+</sup>-АТФазы были обнаружены у двух видов морских зеленых микроводорослей: *Tetraselmis viridis* (Balnokin, Popova, 1994) и *Dunaliella maritima* (Popova et al., 2005). Na<sup>+</sup>-АТФаза является первично-активным механизмом и за счет энергии гидролиза АТФ способна эффективно удалять избыток ионов Na<sup>+</sup> из цитоплазмы в широком диапазоне наружных концентраций Na<sup>+</sup> и значений pH. Ген Na<sup>+</sup>-АТФазы *T. viridis* клонирован (Gen Bank: FN691482.1).

Работа поддержана грантом РФФИ № 10-04-01456.

## ПОКАЗАТЕЛИ CO<sub>2</sub> И H<sub>2</sub>O ОБМЕНА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ РОДА *BETULA* ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

**Придача В.Б.<sup>1</sup>, Сазонова Т.А.<sup>1</sup>, Ольчев А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт леса Карельского НЦ РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

E-mail: [pridacha@krc.karelia.ru](mailto:pridacha@krc.karelia.ru)

Происходящие изменения климата и антропогенная деятельность оказывают заметное влияние на наземные экосистемы. Прогноз реакции растений на эти изменения имеет, несомненно, первостепенное значение для оценки вероятных последствий глобального изменения климата на биосферу. На территории Республики Карелия 10.1% лесопокрывом площади занимают растительные сообщества с преобладанием видов рода *Betula*. Для выявления межвидовых особенностей реакции растений на изменение внешних условий было проведено исследование показателей CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O обмена листа березы повислой (*Betula pendula* Roth) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) в условиях таежной зоны Северо-Запада России.

Измерения параметров фотосинтеза, дыхания и устьичной проводимости листа березы повислой и березы пушистой проводили с помощью фотосинтетической системы LI-6400XT (LI-COR Inc., США) на экспериментальных площадях Института леса КарНЦ РАН (южная Карелия, N 61°45', E 34°20'). Прибор LI-6400XT позволяет в автоматическом режиме проводить измерения фотосинтеза и дыхания отдельного листа при различных значениях ФАР, температуры, влажности и концентрации CO<sub>2</sub> в измерительной камере. Программа измерений в полевых условиях включала получение углекислотных и световых кривых фотосинтеза листьев при разных температурах воздуха и температурных зависимостей темного дыхания. На основе полученных данных по методике (Sharkey et al., 2007) рассчитывали значения максимальной скорости карбоксилирования РБФК/О ( $V_{c_{max}}$ ), скорость переноса электронов для регенерации акцептора РБФ при световом насыщении ( $J_{max}$ ), а также скорость утилизации триозофосфатов (TPU), что характеризует доступность вну-



тренних неорганических фосфатов ( $P_i$ ) для цикла Кальвина. Температурные зависимости  $V_{c_{max}}$ ,  $J_{max}$  и  $TPU$  были получены путем статистического анализа множества значений  $V_{c_{max}}$  и  $J_{max}$  при разных температурах листа с использованием уравнений, предложенных группой исследователей (Medlin et al., 2002). Температурную зависимость  $TPU$  рассчитывали с использованием алгоритма (Sharkey et al., 2007). На основании температурных зависимостей были получены предварительные оценки  $V_{c_{max}}$ ,  $J_{max}$  и  $TPU$  для выбранной референтной температуры 25°С. Полученные результаты были использованы в процесс-ориентированной модели MixFor-SVAT (Olchev et al., 2002, 2008) для определения возможного отклика  $CO_2/H_2O$  бюджета лесных экосистем Карелии на будущие климатические изменения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-04-00827-а и 11-04-01622-а).

### ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ УРОВНЯ ПОЛИАМИНОВ ПРИ УФ-В СТРЕССЕ В РАСТЕНИЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA*

**Прудникова О.Н., Власов П.В., Карягин В.В., Ракитина Т.Я., Ракитин В.Ю.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук,  
Россия, Москва  
E-mail: rakit@ippras.ru*

Исследовали ответы растений на УФ-В радиацию, включая ростовые реакции, устойчивость, динамику образования и взаиморегуляцию синтеза стрессовых гормонов этилена и АБК, а также их влияние на содержание протекторных веществ — полиаминов.

Для выяснения участия этиленового сигнального пути (ЭСП) в указанных процессах в качестве объектов исследования использовали растения *Arabidopsis thaliana* дикого типа и мутанты ЭСП: мутант с нарушенной рецепцией этилена *etr 1-1*, и нечувствительный к этилену мутант с постоянно включенным этиленовым путем *ctr 1-1*.

Было определено содержание полиаминов при различных уровнях УФ-В стресса и показано, что адаптация растений к низким и умеренным дозам УФ-В облучения проходила на фоне стабильного уровня спермидина и спермина и подъема содержания их предшественника путресцина. Меньший подъем содержания путресцина после высокой и летальной доз УФ-В сопровождался падением содержания спермидина и спермина, которые интенсивно расходовались в стрессовых условиях. Блокирование рецепции этилена 1-мр в растениях дикого типа и *etr 1-1* увеличивало накопление путресцина при УФ-В стрессе, но не влияло на синтез полиаминов в нечувствительных к этилену растениях *ctr*-мутантов. Откуда следует, что ЭСП участвует в регуляции уровня полиаминов, а этилен является негативным регулятором синтеза полиаминов.

В противоположность образующемуся при УФ-В стрессе этилену, экзогенная АБК значительно уменьшала потери спермидина и спермина за счет активации синтеза их предшественника путресцина, что обеспечивало выживание растений даже при летальной дозе



УФ-В. Без обработки АБК растения погибали, а обработанные выживали. Эти данные показывают, что АБК можно рассматривать как позитивный регулятор синтеза полиаминов.

Таким образом, этилен и АБК принимают участие в поддержании уровня полиаминов, достаточного для сохранения жизнеспособности растений при УФ-В стрессе. Нарушение гормональной регуляции при полном ингибировании ЭСП с помощью 1-мр приводит в конечном итоге к снижению УФ-В устойчивости растений.

## **ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНЕВОЙ ТОКСИЧНОСТИ НА ПЕРВИЧНЫЕ РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ СОРТОВОЙ КОЛЛЕКЦИИ ГРЕЧИХИ**

**Пухальская Н.В., Большакова Л.С., Шмаков Е., Пороховник Т.Д.,**

*РГАУ МСХА им.К.А.Тимирязева, ООО «Агропарк»*

*E-mail: atlanta@seomax.ru*

Гречиха издавна считается культурой, устойчивой к ионам алюминия в почве. Однако, данные по её устойчивости- принято оценивать в сравнении с менее устойчивыми видами растений. Детально же современные коллекции сортов не тестируются к такому экологически важному фактору агропромышленного производства, как токсичность почв, с высоким содержанием алюминия. В экспериментах тестировали коллекцию сортов Гречихи, собранную с разных сортоучастков России, содержащую районированные сорта гречихи.

Тестирование проводили в первые 10 дней роста растений с использованием диапазона растворов, содержащих ионы алюминия в растворах: 0, 1, 5, 10, 20 мг Al/л в растворе 10-4М CaSO<sub>4</sub>.

В выборку входило 9 наиболее популярных сортов гречихи. Анализ первичной реакции показал, что только у сорта гречихи Каракалыкская росток оказался нечувствителен к ионам алюминия в среде в первые 10 дней роста, и только сорт Илишевская показал стабильное компенсаторное усиление роста надземной части как реакцию на присутствие ионов алюминия во всех диапазонах концентраций. Остальные сорта можно поделить на 2 группы: негативно реагирующие на присутствие ионов алюминия. Снижающие рост проростка: Сорта Девятка, Молва, Сумчанка. И сорта, у которых наблюдается существенная активация роста от присутствия ионов алюминия в ранний период времени в почвенном растворе: Инзерская, Сауляк, Никольская, Деметра. Активация роста надземной части проростка оказалась максимальной у сортов Инзерская и Деметра в растворе 5мг Ал/л, и снижалась с повышением дозы алюминия.

Реакция корневой системы (КС) также явилась показательной. У отмеченных ранее сортов: Илишевская — длина КС увеличивалась с повышением концентрации алюминия в растворе (не наблюдалось торможения роста КС; с. Каракалыкская — самые низкие показатели ростовой активности КС на всех растворах с Алюминием; все остальные сорта показали снижение ростовой активности от 0 до 5мг/Ал/л и активацию роста корней в более концентрированных растворах алюминия.

Данные позволяют утверждать, что механизмы устойчивости проростков гречихи являются сортоспецифичными, реализуются по разному, что позволяет проводить отбор по данным признакам, определяя их корреляцию с динамикой более позднего роста и продуктивностью.

## ФИЗИОЛОГО-ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ АДАПТАЦИОННЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ РАСТЕНИЙ ЮГА УКРАИНЫ

Пюрко О.Е.<sup>1</sup>, Мусиенко Н.Н.<sup>2</sup>

*Мелитопольский государственный педагогический университет  
имени Богдана Хмельницкого, Мелитополь, Украина*

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченка, Киев, Украина*

*E-mail: diser03@rambler.ru*

Формирования флоры юга Украины объясняется региональными климатическими условиями, а также экологическими показателями — увлажненностью, кислотностью, трофностью, содержанием в почве избытка солей. Все больше внимания уделяется изучению галофитов, так как засоленные земли на Украине занимают большие площади (76 тыс. га). Засоленной является примерно 25% всей земли планеты. Они занимают обширные территории в Средней Азии, в пустынях Африки, прибрежных морских районах всех стран. Содержание солей в почве определяет процессы жизнедеятельности организма на всех уровнях его организации, начиная с молекулярного и заканчивая фитоценоз и является для растений экзогенным фактором среды. Увеличение содержания солей в свою очередь приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Актуальной проблемой на сегодняшний день является изучение физиолого-гистологических адаптационных перестроек растений юга Украины.

Цель исследования — изучение физиолого-гистологических адаптационных перестроек растений юга Украины, физиолого-анатомического биоразнообразия растений на примере *Halimione verrucifera* L., *Taraxacum bessarabicum* и *Limonium meyeri* (Boiss.) O. Kuntze.

Наши исследования показали, что листья *Halimione verrucifera* L. очень мелкие, овальные до продолговато-яйцевидных, цельнокрайние, на поперечном срезе округлые, продолговатые. Эпидерма расположена в два слоя клеток. Сверху находятся крупные овальные клетки. Функция эпидермиса — защищать лист от высыхания, механических воздействий. Эпидерма состоит из основных эпидермальных клеток и продыховых. Основные клетки — бесцветные, характеризуются определенной формой и размерами. В *Halimione verrucifera* L. выделяют верхний и нижний эпидермис листе.

Исследования доказали, что верхний эпидермис листе *Halimione verrucifera* L. имеет клетки с прямолинейными очертаниями, округлой проекцией, углы — закругленные и заостренные, количество на 1 мм<sup>2</sup> — 110 шт., короткая ось — 1,5 мкм, размер по длинной оси — 214,5 мкм, площадь клетки — 311 мм<sup>2</sup>. Нижний эпидермис имеет прямоугольную

проекцию площади эпидермальных клеток, очертания прямолинейные, углы в смежных пределах заостренные и закругленные, количество клеток на  $1 \text{ мм}^2$ —130 шт. Размер по длинной оси—31,7 мкм, по короткой—25,5 мкм, площадь клетки—808,4 мкм<sup>2</sup>. Устьица аномоцитного типа, их количество на адаксиальной стороне составляет 75-80 шт/мм<sup>2</sup>, а на абаксиальной—85-90 шт/мм<sup>2</sup>.

Таким образом, наши исследования показали, что лист покрыт с адаксиальной и абаксиальной сторон эпидермой. Устьица аномоцитного типа. По внутреннему строению лист—атриплекоидного типа, имеет краенц-анатомию. Ведущая система находится внутри водоносной паренхимы, но окончания ее выходят на периферию и лежат в контакте с клетками хлоренхимной обкладки.

Гистологическое изучение листа *Taraxacum bessarabicum* доказало, что сверху он покрыт кутикулой ( $8 \pm 2,3$  мкм). Эпидерма листа включает три типа основных клеток на абаксиальной поверхности: I тип—клетки неправильной формы; проекция их распластана, очертания зигзагообразны, углы в смежных пределах острые, количество на  $1 \text{ мм}^2$ —75 шт., размер по длинной оси—92,3 мкм, по короткой—57 мкм,  $S=5261,1 \text{ мкм}^2$ . II тип—прозенхимные клетки; проекция которых вытянута, очертания прямолинейные, углы в смежных пределах острые, количество на  $1 \text{ мм}^2$ —55 шт. Размер по длинной оси—100 мкм; по короткой—35,4 мкм  $S=3540 \text{ мкм}^2$ . III тип—паренхимные клетки с округлой проекцией и очертаниями, углы в смежных пределах тупые, количество на  $1 \text{ мм}^2$ —10 шт. Размер по длинной оси—41,3 мкм по короткой—38 мкм;  $S=1569,4 \text{ мкм}^2$ . Адаксиальная эпидерма листа имеет следующие типы клеток: I тип—прозенхимные клетки с вытянутой проекцией; очертания которых прямолинейные; углы в смежных пределах острые, количество на  $1 \text{ мм}^2$ —34 шт. Размер по длинной оси—107 мкм; по короткой—38,6 мкм  $S=4130,2 \text{ мкм}^2$ . II тип—клетки паренхимные с округлой проекцией и очертаниями; углы в смежных пределах закругленные, количество клеток на  $1 \text{ мм}^2$ —33 шт. Размер по длинной оси—56,5 мкм по короткой—55 мкм;  $S=3107,5 \text{ мкм}^2$ . III тип—клетки неправильной формы; проекция—распластанная, очертания зигзагообразные, углы в смежных пределах острые, количество на  $1 \text{ мм}^2$ —61 шт. Размер по длинной оси 97,5 мкм, по короткой—82 мкм;  $S=7995 \text{ мкм}^2$ . В эпидермисе находятся большие моторные клетки, которые имеют тонкую обкладку и при подсыхании скручивают лист. В *Taraxacum bessarabicum* амфистоматичный тип листа. Тип устьичных комплексов—аномоцитный, на абаксиальной стороне их 115 шт/мм<sup>2</sup>, на адаксиальной—120 шт/мм<sup>2</sup>.

Изучение внутреннего строения листа этого вида определило, что эпидерма составляет 8% от общей толщины листа, под ней находится гиподерма, размеры которой 7%. Клетки гиподермы округлой формы, близко примыкают друг к другу. За гиподермой находится хлоренхима (83%), которая состоит из столбчатого и губчатого мезофила, с клетками округлой формы, расположенными отдельно друг от друга. Сосудисто-волокнистые пучки закрытого, коллатерального типа.

Исследования анатомических особенностей строения черешка *Taraxacum bessarabicum* показали, что он также покрыт эпидермой с кутикулой (5%). Под эпидермой лежит гиподерма (3%) в один слой клеток, клетки которой округлой формы и близко примыкают друг к другу, клетки меньше, чем такие же в листе. Большую часть черешка составляет фото-

синтезирующей паренхима (66%), клетки ее большие, округлые, с тонкими оболочками, расположены отдельно друг от друга, с хорошо развитыми межклетниками. Сосудисто-волокнистые пучки закрытого коллатерального типа, в которых мы выделили три порядка: СВП I порядка — длинная ось равна короткой, составляет 325 мкм  $S=105625$  мкм<sup>2</sup>. Находятся в центре. СВП II порядка — их два, длинная ось 234 мкм; короткая — 188,5 мкм  $S=44109$  мкм<sup>2</sup>. Лежит медиально от СВП I порядка. СВП III порядка — небольших размеров (5 проводящих пучков), длинная ось 117 мкм; короткая — 93,6 мкм  $S=10951,2$  мкм<sup>2</sup>. Лежит латерально от СВП I порядка.

Исследование анатомо-морфологических особенностей листе *Limonium meyeri* (Boiss.) O. Kuntze. показали, что прикорневые листья собраны в розетку: эллиптические, удлинённые, бицифальные, до 35 см длиной и 2,5–7 см шириной. Сверху листья покрыты однослойной эпидермой с погруженными устьицами и солевыми трихомами. Листок амфистоматичный, состоит из эпидермиса, смешанного мезофила и хорошо развитой проводящей ткани. Изучение эпидермиса листа показали, что адаксиальная эпидерма состоит на 23% из вытянутых и на 77% распластанных основных клеток; в ней есть большое количество солевых железок и погруженных устьиц. Устьица вентральной и дорсальной стороны листа окружены тремя побочными серповидными клетками, размещены поочередно, аллелоцитного типа. Особенности строения нижней эпидермы являются изменения в процентном отношении: вытянутых (31,7%) и распластанных (68,3%) основных клеток и их еще меньшие размеры. Определение основных клеток — прямолинейно-округлые, а углы в смежных границах прямые, острые, тупые, иногда закруглены. Под эпидермисом с обеих сторон листовой пластинки залегает столбчатый мезофилл. С адаксальной стороны его мелкие прямоугольные клетки образуют 2-3 ряда, а с абаксальной — 1-2. Между ними, по центру, находятся 3-4 ряда округлых и эллиптических клеток губчатой паренхимы, размещенные рыхло. Ее пронизывают сосудисто-волокнистые пучки — закрытые коллатеральных, не имеют краенц-обкладки. Наиболее крупные пучки расположены в центральной части листа, в количестве от 4 до 6, в большинстве это пучки II и III порядка.

Таким образом, мы можем сказать о наличии в данном растении признаков галоксеричности и выделить следующие особенности его количественно-анатомической структуры: отсутствие краенц-обкладки — изолатеральный, палисадный, некраенцевый тип листа; большое количество дифференцированных пучков в центральной жилке; хорошее разложение столбчатой паренхимы и ее размещение с двух сторон листа, эпидермиса и мезофила, наличие аллелоцитных устьиц, солевых железок и одноклеточных трихом. Итак, рассматривая флору юга Украины, можно сделать вывод, что она отличается обедненным видовым составом. Спектр 10 основных семейств составляют *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Brassicaceae*, *Fabaceae*, *Polygonaceae*, *Malvaceae*, *Limoniaceae*, *Scrophulariaceae*, *Juncaceae*. Значительное количество видов *Chenopodiaceae* свидетельствует об определенной участие видов засоленных местообитаний.

Исходя из этого, можно сделать следующие выводы:

1. Структурный анализ вегетативных органов растений позволяет утверждать, что листок *Halimione verrucifera* L. амфистоматичный, устьичные комплексы аномоцитного типа.

Имеет атриплекоидный тип крапц-анатомии. *Halimione verrucifera L.* относится к ксерогалофиту, является субдоминантным в галофитных фитоценозах юга Украины.

2. У *Taraxacum bessarabicum* имеет амфистоматичный тип листа. Тип устьичных комплексов аномоцитный. Мезогалофитный тип крапц-анатомии. По количественно-анатомическим особенностям вегетативных органов *Taraxacum bessarabicum* можно отнести к мезогалофиту, гемикриптофиту.

3. *Limonium meyeri (Boiss.) O. Kuntze.* — Не имеет крапц-анатомии, ксероморфное строение с одноклеточными трихомами, это растение евгалофит — ксерофит, терофит.

Полученные результаты расширяют теоретическое знание об анатомическом строении вегетативных органов галофитов. Несмотря на то, что галофиты — жители засоленных почв, гистологические исследования важны для понимания физиолого-анатомических особенностей приспособления данной группы растений к повышенному составу солей в почве.

В настоящее время солеустойчивость растений является актуальной проблемой сельского хозяйства, поскольку засоленные почвы занимают большую площадь, а повышенное содержание солей в свою очередь приводит к резкому снижению урожайности различных сельскохозяйственных культур. Наши исследования показали, что засоление вызывает изменение размеров основных клеток эпидермиса и устьичного комплекса, нарушает порядок их расположения с обеих поверхностей листа. Поэтому эпидерма как полифункциональная информативная ткань, структурные изменения которой отражают ход адаптационных процессов в листьях, может выступать индикатором влияния солей на растения в целом. Изучение внутреннего строения фотосинтезирующих органов показало, что исследованные галофиты имеют крапц-анатомию: *Halimione verrucifera L.* — атриплекоидного типа, *Taraxacum bessarabicum* — мезогалофитного типа, *Limonium meyeri* — не имеет крапц-анатомии. Засоление приводит к изменению соотношения тканей фотосинтезирующих органов и может выступать маркером состояния засоления почвы: у криногалофита формируются листья ксеросукулентного строения, у мезофита — ксероморфного, а у евгалофита — наблюдается ксерофитное строение.

Таким образом, засоление вызывает структурно-функциональные изменения вегетативных органов, которые могут выступать маркером влияния избытка солей в растениях. Наши исследования доказали, что глобальная аридизация климата и увеличение содержания солей в почве обуславливает физиолого-гистологические адаптационные приспособления растений юга Украины.

**ВЛИЯНИЕ ДИГИДРОКВЕРЦЕТИНА НА АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗ  
И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ *GLYCINE MAX (L) MERRILL***

**Разанцвей В.И., Разанцвей П.Н., Кузнецова В.А., Лаврентьева С.И., Иваченко Л.Е.**

*Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск, Россия*

*E-mail: Ivachenko-rog@yandex.ru*

Амурская область производит 60% всей сои в России. В связи с продвижением выращивания сои на север возникла необходимость в изучении ее эколого-биохимических механизмов устойчивости и продуктивности. Ведущую роль в адаптации растений играют ферменты. Проведенные ранее нами исследования, по изучению энзиматической активности семян сои различного филогенетического происхождения, позволили изучить взаимосвязь разнообразия множественных форм ферментов сои (пероксидаз, каталаз, рибонуклеаз, эстераз, кислых фосфатаз) с условиями ее выращивания и использовать их в качестве маркеров стрессоустойчивости.

На Дальнем Востоке широко распространена лиственница Даурская (*Larix dahurica*), которая используется для производства биофлавоноида дигидрокверцетина (ДКВ). Крупнейшим производителем природных экстрактов из лиственницы является ЗАО «Аметис» (г. Благовещенск). В лабораторных условиях нами были проведены исследования по влиянию ДКВ на пероксидазную активность семян сои. Было показано, что применение ДКВ разной концентрации и чистоты приводит к изменению активности и числа множественных форм фермента.

Предпосевная обработка семян сои сорта Соната ДКВ невысокой концентрацией, в полевых условиях, оказала положительное влияние на всхожесть и высоту растений. Биометрический анализ показал, что произошло увеличение количества бобов на 15%, а их массы на 12%. Количество семян с одного растения и их масса увеличились на 14%, что привело к повышению урожайности по сравнению с контролем в сложных погодных условиях 2012 года. По такому важнейшему показателю как масса 1000 семян исследованные образцы сои не отличались от контроля, что соответствует ранее проведенным исследованиям и литературным данным.

Удельная активность пероксидаз семян сои опытных образцов, не отличалась от установленной в контроле. Однако количество множественных форм фермента было выше, что, возможно, привело к усилению метаболических процессов.

Таким образом, предпосевная обработки семян дигидрокверцетином стимулирует биохимические процессы сои, что приводит к улучшению хозяйственно ценных показателей.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНОТИПОВ  
КСЕРОГАЛОФИТА *HALOXYLON APHYLLUM* К РАЗНЫМ УСЛОВИЯМ  
ВОДНО-СОЛЕВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Тодерич К.Н., Воронин П.Ю.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия*  
*E-mail: zulfirar@mail.ru , evshuya@mail.ru*

Засоление и засуха отражается на генетическом разнообразии популяций ксерогалофита *Haloxydon aphyllum*, приводя к значительному понижению уровня гетерозиготности.

Исследовали влияние ионного (NaCl) и осмотического (ПЭГ) стресса на интенсивность световых и темновых реакций фотосинтеза (при атмосферной и низкой концентрации CO<sub>2</sub>), транспирацию, содержание хлорофилла и пролина разных генотипов *H. aphyllum*. В качестве контроля использовали 25% Hoagland.

Установлено, что водный стресс небольшой силы—осмотический потенциал 4 бара (ПЭГ), не вызывал существенных изменений видимого фотосинтеза и транспирации. Аналогичный (по осмотическому потенциалу) солевой стресс (100мМ NaCl) обладал стимулирующим эффектом на видимый фотосинтез (20–60%) и приводил к снижению интенсивности транспирации (на 30–50%).

Осмотический стресс большой силы (осмотический потенциал 8 баров, ПЭГ) оказывал сильное отрицательное воздействие—подавлял видимый фотосинтез (в 2 раза) и транспирацию (в 4–5 раз). Аналогичное (по осмотическому потенциалу) засоление (200мМ NaCl) стимулировало интенсивность видимого фотосинтеза в 2-3 раза, а транспирацию подавляло в 2 раза.

Выявлены различия по генотипам: в оптимальных условиях преимущества имели гетерозиготные генотипы (интенсивность видимого фотосинтеза была в 1,5 раза больше, чем у гомозигот); при осмотическом стрессе (8 баров, ПЭГ)—преимущество отмечено у гомозиготных генотипов. Показано, что эффективность использования воды (отношение видимого фотосинтеза к интенсивности транспирации) у них была в 2,2 раза больше, а содержание пролина в 2 раза меньше, чем у гетерозигот.

Полученные данные свидетельствуют о том, что наибольшие стрессиндуцированные изменения в показателях углеродного и водного обмена были выявлены при воздействии осмотического стресса (осмотический потенциал 8 баров, 200 ПЭГ), а растения *H. aphyllum* с гомозиготным генотипом проявили большую устойчивость данному стрессу.

Работа выполнена частично за счёт средств проекта 6.3. Программы Президиума РАН «Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы» и гранта РФФИ «12-04-97023-р\_поволжье\_а».



**ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА ФИТОХЕЛАТИНСИНТАЗЫ В ЛИСТЬЯХ  
ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ И СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ  
КАДМИЯ И НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**Репкина Н.С., Таланова В.В., Титов А.Ф.**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии*

*Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия*

*E-mail: nrt9@ya.ru*

В условиях контролируемой среды изучали экспрессию гена фитохелатинсинтазы, являющейся ключевым ферментом синтеза фитохелатинов, при раздельном и совместном действии на растения кадмия и низкой температуры.

Опыты проводили в климатических камерах с семидневными проростками пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 39, которые подвергали воздействию сернокислого кадмия (100 мкМ) или низкой температуры (4°С), а также их совместному действию в течение 7 суток. Уровень экспрессии гена, кодирующего фитохелатинсинтазу (*PCSI*), в листьях пшеницы анализировали методом ПЦР в режиме реального времени.

Исследования показали, что под влиянием кадмия экспрессия гена *PCSI* усиливается через 1 ч от начала опыта и остается на повышенном уровне, достигая максимума на 6-е сут. Однако, спустя 7 сут уровень экспрессии данного гена снижался до исходного значения. При воздействии низкой температуры также наблюдалось увеличение содержания транскриптов гена *PCSI* через 1 ч от его начала, которое сохранялось на повышенном уровне в течение всего опыта. При совместном воздействии на проростки кадмия и низкой температуры уровень экспрессии гена фитохелатинсинтазы повышался уже через 30 мин от начала опыта и продолжал нарастать с увеличением экспозиции. В целом совместное воздействие этих стресс-факторов приводило к большему усилению экспрессии гена *PCSI*, чем при их раздельном действии.

Таким образом, полученные данные о характере изменений экспрессии гена *PCSI* при раздельном и совместном воздействии кадмия и низкой температуры на проростки пшеницы позволяют сделать вывод об участии фитохелатинсинтазы в неспецифических защитных реакциях растений на действие стресс-факторов разной природы.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.132.21.1421.

## ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГАЛОФИТОВ В УСЛОВИЯХ ПРИЭЛЬТОНЬЯ

Розенцвет О.А., Нестеров В.Н., Богданова Е.С.

*Институт экологии Волжского бассейна РАН (ИЭВБ РАН), г. Тольятти, Россия*

*E-mail: nesvik1@mail.ru*

Приэльтонье — территория со сложной геологической историей развития, разнообразием почвообразующих пород, засоленностью и неравномерным увлажнением почвенного покрова. Температурный режим отличается амплитудой экстремальных температур: абсолютный минимум — в январе ( $-31^{\circ}\text{C}$ ), абсолютный максимум — в августе ( $41^{\circ}\text{C}$ ). Все эти характеристики делают Приэльтонье уникальным естественным полигоном для научных исследований и, в частности, для изучения особенностей физиологического развития галофитов. В устойчивости растений к засолению немалую роль играют их молекулярно-генетические особенности, однако многие аспекты, например участие липидов и белков клеточных мембран, до сих пор мало изучены. Понимание причин изменения или стабильности состава биополимеров галофитов в ответ на действие абиотических факторов дает предпосылки для научного обоснования применения представителей галофильной флоры в сельском хозяйстве, разработке программ фиторемедиации засоленных или загрязненных ксенобиотиками почв. В качестве объекта исследований были выбраны представители эвгалофитов — *Salicornia perennans* Willd., криногалофитов — *Limonium gmelini* (Willd.) O. Kuntze и гликогалофитов — *Artemisia santonica* L. Растения отбирали в первой половине дня в мае, июне и августе 2012 г в устьевых участках 6 рек, впадающих в соленое оз. Эльтон. Анализ состава и содержания липидов и белков надземной части растений, водной вытяжки из почвы выявил ряд закономерностей. Так, растения *S. perennans*, как правило, произрастали на участках с более сильным засолением почвы, чем *L. gmelini* и *A. santonica*. Общее содержание липидов и белков увеличивалось в ряду  $S. perennans < L. gmelini < A. santonica$ . Отношение водорастворимых белков к мембраносвязанным изменялось для растений *S. perennans* в диапазоне 1,8–3,3 в зависимости от места обитания, для *L. gmelini* 3,1–4,8, а для *A. santonica* 3,1–6,6. В процессе роста и развития растений с мая по август увеличивалось содержание структурных фосфо- и гликолипидов, а так же запасных нейтральных липидов: для *S. perennans* в 1,7 и 3,2 раза, для *L. gmelini* в 1,4 и 1,6 раз, для *A. santonica* в 1,3 и 4,9 раз, соответственно. Таким образом, успешное развитие галофитных растений в специфических условиях Приэльтонья обеспечивается, в том числе, модуляцией их липидных и белковых компонентов, ответственных за структурные и энергетические свойства клетки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 12-04-0111-а.

**РОСТ-РЕГУЛИРУЮЩАЯ АДАПТАЦИЯ К ПОЧВЕННОМУ ВОДНОМУ ДЕФИЦИТУ  
ЮВЕНИЛЬНЫХ C<sub>4</sub>-РАСТЕНИЙ АМАРАНТА ПО ХОДУ  
ИХ ОНТОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ**

**Рымарь В.П., Халатян О.В., Воронин П.Ю.<sup>1</sup>**

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
и профессионального образования «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург  
E-mail: botsadurfu@mail.ru*

<sup>1</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии  
растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва  
E-mail: pavel@ippras.ru*

В 2012 году в Ботаническом саду УрФУ в ходе полевого эксперимента исследовали воздействие искусственно поддерживаемого дефицита влаги в почве на рост и развитие 3-х образцов (*Amaranthus caudatus* ssp. *Gibbosus*, *A. caudatus* ssp. *mantegazzianus* cv. Golden Giant и *A. cruentus* L. cv. Pygmy Torch) C<sub>4</sub>-растений рода *Amaranthus* в течение всего периода их онтогенеза. Всего в опыте было задействовано 90 растений (3 образца × 30 растений). Их выращивали в 8-литровых сосудах, по одному растению на сосуд, при равной естественной освещенности в вегетационном домике в условиях, исключающей попадание атмосферных осадков. Первые 10 дней все растения регулярно поливали одинаковым объемом воды. Затем растения каждого образца разделили на две, по 15 растений, группы. Одну контрольную группу растений поливали в прежнем режиме. Регулярную норму полива для второй группы растений (опыт) сократили в 5 раз. Измерения продукционных показателей растений проводили в три срока. 1-й срок соответствовал ювенильному возрасту 69 растений. 2-й срок — вегетативной фазе 82 дневных взрослых растений. 3-й срок — растениям в возрасте 102 дня в репродуктивной фазе развития. Пятикратное снижение нормы полива опытных растений привело 1.5–2 кратному снижению общей площади листьев и к формированию пропорционально меньшей гетеротрофной фитомассы (стебли и корни). CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O газообмен и флуоресценцию хлорофилла ФС II измеряли с помощью высокоточной портативной системы измерения фотосинтеза (GFS-3000, Walz, Германия). Фотосинтез определяли на неотделённых сформированных листьях 3-го сверху яруса во 2-й и 3-й сроки наблюдений. Во всех случаях световая стадия фотосинтеза не лимитировала CO<sub>2</sub>-газообмен на свету. Так, в оба срока наблюдений выход темновой и световой флуоресценции хлорофилла ФС II оставался неизменным. Фотосинтетический газообмен в расчёте на единицу площади листа в опыте не отличался от контроля. Во 2-й срок наблюдений у всех трёх образцов амаранта отмечали одинаковую (~150 моль H<sub>2</sub>O/моль CO<sub>2</sub>), не зависимо от водообеспеченности в течение периода онтогенеза, эффективность использования воды на транспирацию. Только на заключительной стадии онтогенеза, перехода к плодоношению (3-й срок наблюдений) эффективность использования воды на транспирацию у всех, и опытных и контрольных, образцов амаранта снизилась в 2–1.5 раза. Сделан вывод, что выращивание молодых растений амаранта при ограниченной в 5 раз норме полива не сопровождается интенсификацией C<sub>4</sub> механизма фотосинтеза или изменением скорости прохождения стадий онтогенеза, но снижает их облиственность уже на самых ранних стадиях роста и развития в условиях почвенного водного дефицита.

**ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ *ZIZYPHUS JUJUBA* MILL. ПО КОЛЛОИДНО-ОСМОТИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПРОТОПЛАЗМЫ ЛИСТЬЕВ****Семенютина В.А.***Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации,**Волгоград, Россия**E-mail: VSem89@mail.ru*

Засухоустойчивость — способность растений переживать засушливые периоды. Уменьшение гидратуры протоплазмы (способность избегать высыхания) и способность обезвоживаться без повреждений (устойчивость к высыханию) дает шанс растениям пережить крайнюю засуху.

Объектом исследований являлись сорта *Zizyphus jujuba* Mill., произрастающие на светло-каштановых почвах ФГУП «Волгоградское» ВНИАЛМИ РАСХН. Параметры засухоустойчивости определялись по изменению коллоидно-осмотических свойств протоплазмы клеток листьев. Изменение выхода электролитов при обезвоживании отражает нарушение коллоидно-осмотических свойств протоплазмы, которое, сказывается на увеличении ее проницаемости. О проницаемости протоплазмы судили по электропроводности экстракта из навески растительного материала, которая определялась с помощью кондуктометра.

В нашем эксперименте в условиях жесткой засухи 2012 года, когда температура окружающей среды повышалась до 40°C, а относительная влажность воздуха снижалась до 15% определялась устойчивость протоплазмы к обезвоживанию. В период интенсивного роста все сорта унаби имели стабильную оводненность листьев, обладали высокой засухоустойчивостью и способностью регулировать свой водный обмен в засушливое время года.

Результаты эксперимента позволили разделить сорта *Zizyphus jujuba* по степени засухоустойчивости на три группы: I—с высокой; II—средней; III—низкой степенью. В I группу объединены мелкоплодные сорта (Сочинский, Темрюкский), относительный выход электролитов у которых составил 1,70-2,26. Среднеплодные сорта (Дружба, Финик) вошли во II группу (3,68—3,96). Крупноплодные сорта—Та-Ян-Цзао и Южанин отнесены к III группе (4,24—5,0). В условиях Волгоградской области лучшим ростом и высокими адаптационными свойствами характеризуются растения I группы. Полученные данные подтверждают многолетние наблюдения за фенологией, ростом и развитием каждого сорта по методике сортоизучения.

Таким образом, метод позволяет давать экспресс-оценку засухоустойчивости растений по состоянию коллоидно-осмотических свойств протоплазмы листьев, что облегчает поиск оптимального посадочного материала в регионах засухи и водного дефицита. Использование полученных данных способствует решению задач ресурсосбережения путем применения наиболее адаптированных сортов, а также для управления режимом орошения в экстремально засушливые периоды года.

## ДЕЙСТВИЕ СЛАБОГО ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА АКТИВНОСТЬ АНТИОКСИДАНТНЫХ ФЕРМЕНТОВ ПРОРОСТКОВ РЕДИСА

**Сердюков Ю.А., Новицкий Ю.И.**

*Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*

*E-mail: yinov@ippras.ru*

Изучали влияние слабого постоянного магнитного поля (ПМП) с индукцией 185–650 мкТл на активность антиоксидантных ферментов 1–5-дневных проростков редиса (*Raphanus sativus* L. var. *radicula* D.C.) сорта «Розово-красный с белым кончиком». Проростки выращивали в камере фитотрона ИФР РАН на свету с интенсивностью 1 клк и в темноте. ПМП создавали кольцами Гельмгольца, питаемыми постоянным током. Индукция поля в контроле (ГМП) составляла 35 мкТл. Показана зависимость активности супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ), и растворимой фракции пероксидазы (ПО) в 1–5-дневных проростках редиса от изменения величины индукции ПМП в интервале 185–650 мкТл.

Наиболее значимое подавление активности СОД у темновых проростков под действием ПМП происходило при 620 мкТл на 2-е сутки (на 70% ниже контроля), 390 мкТл на 3-и, 650 мкТл на 4-е (50% от контроля), и 185 мкТл на 5-е (65% от контроля). Активация СОД происходила в темновых проростках при 325 мкТл на 3-и сутки (150% от контроля), 310 мкТл на 4-е (200% от контроля). У световых проростков поле практически не оказывало значимого подавляющего действия, а максимальная стимуляция происходила при 185 мкТл на 3-и и 4-е сутки (180% и 170% от контроля).

ПМП снижало активность КАТ у темновых проростков до минимума в 60% от контроля при 390 мкТл на 1-е сутки, 35% и 60% от контроля при 310 мкТл на 2-е и 3-и, и до 60% от контроля при 325 мкТл на 5-е. Максимальная стимуляция активности происходила лишь на 3-и сутки при 325 мкТл и на 5-е при 650 мкТл (на 85% и 35% по сравнению с контролем). У световых проростков ПМП подавляло активность КАТ до минимума при 325 мкТл на 2-е, 3-и и 5-е сутки (на 35%, 35%, и 40% по сравнению с контролем). Стимуляция активности до максимума происходила на 1-е и 2-е и 5-е сутки при 650 мкТл (200%, 200% и 150% от контроля), на 3-и при 185 мкТл (160% от контроля) и 4-е при 310 мкТл (240% от контроля).

В темноте ПМП снижало вдвое активность ПО темновых проростков при 390 мкТл на 1-е и 5-е сутки и 620 мкТл на 2-е. Максимальная активность ПО наблюдалась на 2-е сутки при 390 мкТл, 3-и при 185 мкТл и 5-е при 310 мкТл (в 5, 4 и 1,5). У световых проростков активность ПО подавлялась в ПМП с индукцией 390 мкТл на 2-е и 5-е сутки (50% и 65% от контроля). Активация происходила на 2-е сутки при 185 мкТл (190% от контроля) и 3-и при 325 мкТл (500% от контроля).

Таким образом, нами показана нелинейная зависимость работы антиоксидантных ферментов от величины индукции ПМП.

**ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА АЗОТА НА АДАПТАЦИЮ МОРСКОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ  
*NANNOCHLOROPSIS OCEANICA* К СИЛЬНОМУ СВЕТУ И СОЛЕННОСТИ СРЕДЫ**

**Соловченко А.Е.<sup>1,3</sup>, Лукьянов А.А.<sup>1</sup>, Соловченко О.В.<sup>1</sup>, Khozin I.F.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Microalgal Biotechnology Laboratory, the Jacob Blaustein Institutes for Desert Research,  
Ben-Gurion University of the Negev

<sup>3</sup>Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН

E-mail: solovchenko@mail.bio.msu.ru

Морские эвригалинные микроводоросли (МВ) из рода *Nannochloropsis* (Eustigmatophyta) активно изучаются из-за способности к накоплению ценной эйкозапентаеновой кислоты (ЕРА; С20:5, n-3) в липидах хлоропластов и необычного состава пигментов: они содержат только хлорофилл (Хл) *a*, а вместо лютеина функции светосбора у них выполняет ксантофилл вошериаксантин (Вкс).

Исследовали рост, динамику состава и содержания жирных кислот (ЖК) и пигментов в клетках *N. oceanica*, культивируемых в 1-л стеклянных колоннах (диаметр — 40 мм) на свету высокой интенсивности (700 мкЕ/(м<sup>2</sup>·с) ФАР) на полной среде ASW (artificial sea water) либо среде ASW, не содержащей азота; эксперименты ставили на ASW с различным содержанием NaCl (40, 27 либо 0 г/л).

На полной среде ASW наблюдали, независимо от содержания NaCl, линейный рост при снижении содержания ЕРА и синхронном росте Хл *a* и Кар. При культивировании на среде ASW без азота наблюдали: снижение скорости роста; индукцию синтеза нейтральных липидов и снижение количества хлоропластных липидов; адаптацию пигментного аппарата к сильному свету. Голодание по азоту вызывало повышение содержания суммы ЖК при одновременном резком снижении доли ЕРА; снижение содержания Хл и Кар, выполняющих светособирающие функции (Вкс); а также повышение степени дезоксидации виолаксантина (рост доли зеаксантина в общих Кар) и соответствующий рост уровня нефотохимического тушения. Также при голодании по азоту наблюдали образование эфиров Вкс и ЖК. Эффекты азотного голодания имели место на среде с 27 и 40 г/л NaCl, а на среде без NaCl были менее выражены. Независимо от содержания NaCl в среде, индуцированные совместным действием сильного света и дефицита азота изменения пигментного состава обладали сильной прямой корреляцией с накоплением суммы ЖК и снижением доли ЕРА.

Судя по полученным результатам, в отсутствие дефицита азота рост на свету высокой интенсивности, независимо от содержания NaCl в среде, не сопровождается стрессовыми реакциями фотосинтетического аппарата и липидного метаболизма. Напротив, при нехватке азота использованная в работе интенсивность света вызывает типичные для МВ фотозащитные реакции — накопление вторичных Кар и запасных липидов (в липидных глобулах), снижение содержания пигментов-светосборщиков и индукцию тепловой диссипации поглощенной энергии света. Дефицит азота также снижает толерантность *N. oceanica* к высоким концентрациям NaCl в среде и приводит, несмотря на рост содержания общих ЖК, к снижению продуктивности культур по ЕРА.

**ИЗУЧЕНИЕ СНИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОБЕГАХ ЗИМУЮЩЕГО ПОД СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ ВЕЧНОЗЕЛЕННОГО КУСТАРНИЧКА *EPHEDRA MONOSPERMA* В ПЕРИОД ОСЕННЕЙ АДАПТАЦИИ К ЗИМНИМ УСЛОВИЯМ**

**Софронова В. Е.**

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия*

*E-mail: vse07\_53@mail.ru*

*Ephedra monosperma* С.А. Меу—длиннокорневищный вечнозеленый кустарничек высотой до 25 см. Светолюбивое, засухоустойчивое растение, функцию ассимиляции осуществляют многочисленные, сильноветвистые зеленые побеги с редуцированными, чешуйчатыми листьями. Для характеристики физиологического состояния фотосинтетического аппарата *E. monosperma* использовали величину максимальной эффективности запасаения энергии света ФС 2 ( $Fv/Fm$ ), регистрируемые с помощью флуориметра PAM-2500 (“Walz”, Германия), в периоды осеннего закаливания и зимнего покоя. Растения произрастали на территории Ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (62°15’ с.ш., 129°37’ в.д.). Эксперименты проводили в 2010–2012 годы. Температуру воздуха, поверхностную плотность солнечного суммарного излучения ( $Вт/м^2$ ) на опытном участке регистрировали с помощью термографа DS 1922L iButton (“Dallas Semiconductor”, США), сенсора MS-201Fb (“Eiko”, Япония). Суммарную величину солнечной радиации за день находили как сумму измерений сенсора MS-201Fb с интервалом 30 мин. Минимальные температуры воздуха в зимний период не опускались ниже -48°С. Высота снежного покрова в декабре—январе равнялась 44–48 см, температура на глубине 15 см от поверхности снежного покрова варьировала от -20 до -24°С. Составлено множественное линейное регрессионное уравнение зависимости  $Fv/Fm$  от интенсивности солнечной радиации и температуры на основе данных за 2010-2012 гг. Взяты средние значения: а) среднесуточной температуры ( $x_1$ ); б) суммарной дневной величины солнечной радиации ( $x_2$ )—за трое суток (72 часа) до отбора проб до восхода солнца. Данное множественное линейное регрессионное уравнение хорошо описывает экспериментальные данные. Однако надежно отличным от нуля оказался только коэффициент при  $x_1$  ( $t$ —критерий равен 7,899 с уровнем значимости 0.05). При постепенном осеннем снижении среднесуточной температуры в диапазоне от +8.0 до -10.4°С в естественных условиях освещения лимитирующим фактором для  $Fv/Fm$  является среднесуточная температура. Достоверная регрессионная зависимость  $Fv/Fm$  от интенсивности солнечной радиации в естественных условиях не обнаружена. При этом значения  $Fv/Fm$  снижались с  $0.809 \pm 0.007$  до  $0.354 \pm 0.064$ . В зимний период снежный покров (с конца октября) исключает прямое действие солнечной инсоляции и существенно смягчает воздействие низких температур воздуха. Это приводило к стабилизации достигнутых осенью значений  $Fv/Fm$  при установлении снежного покрова.



**ВЛИЯНИЕ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ  
АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ *Th. SALSUGINEA*****Сошинкова Т.Н., Королькова Д.В., Радюкина Н.Л., Кузнецов Вл.В.***Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия**E-mail: soshinkova@mail.ru*

Устойчивость растений к стрессовым факторам основана на генетических защитных программах. Восприятие клеткой внешнего сигнала о неблагоприятном воздействии запускает сигнальный каскад, ведущий к экспрессии генов, продукты которых необходимы для репарации повреждений, восстановления гомеостаза и адаптации к новым условиям. Известно, что пероксид водорода не только играет активную роль в запуске адаптивных программ, но и является активной формой кислорода, вызывающей повреждение биомолекул в клетке. Изучалось действие 500 мкМ пероксида водорода на содержание малонового диальдегида (МДА), пролина, оксипролина, активность супероксиддисмутазы (СОД) и аскорбатпероксидазы (АП), а также экспрессию генов метаболизма пролина и изоформ АП в растениях *Th. salsuginea*. Показано, что обработка пероксидом водорода листьев растений *Th. salsuginea* вызывала увеличение содержания МДА и пролина через 24 ч в листьях. Кроме того, в листьях примерно в два раза увеличивалось содержание оксипролина. Пероксид водорода не вызывал активации ни общей активности СОД, ни АП в течение 24 ч. Эти факты могут указывать на вовлечение пролина в детоксикацию действия пероксида водорода. Увеличение содержания оксипролина может быть сигналом к активации экспрессии генов ферментов биосинтеза пролина *P5CS1* и *P5CR*, которая наблюдалась при обработке пероксидом водорода. Наряду с активацией генов биосинтеза происходило увеличение уровней экспрессии генов деградации пролина *PDH* и *P5CDH*. Возможно, эти гены активируются для деградации оксипролина, поскольку для пролиндегидрогеназы известна способность использования оксипролина в качестве субстрата.

Методом нативного ПААГ электрофореза у *Th. salsuginea* нами было обнаружено несколько изоформ АП с молекулярной массой от 67 до 140 кДа. Мы использовали известные для *Arabidopsis thaliana* кДНК последовательности генов изоформ АП — микросомальной *APX4*, цитозольной *APX2* и *APX1*. Добавление пероксида водорода к растениям приводило к увеличению экспрессии гена, кодирующего *APX4*. Этот факт согласуется с данными других исследователей об усилении экспрессии генов изоформ АП при действии пероксида водорода.

Таким образом, в растениях *Th. salsuginea* на стадии стресс-реакции пероксид водорода вызывал повышение содержания пролина и окисление пролина до оксипролина, что, по-видимому, существенно тормозило активации СОД и АП. Однако, происходило усиление экспрессии генов метаболизма пролина и гена *APX4*, кодирующего хлоропластную изоформу АП, на фоне стабильной активности изоформ.

## ОСМОТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВИДОВ ПРИЛИВНО-ОТЛИВНОЙ ЗОНЫ БЕЛОГО МОРЯ

Стародубцева А.А., Гаврилова О.Н., Кокк А.А., Марковская Е.Ф.

ФБОУ ВПО Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

E-mail: korzunina84@mail.ru

Работа выполнена на побережье Белого моря о. Большой Соловецкий. Исследовано 15 видов растений, включающих галофиты и гликофиты, произрастающие в пределах приливно-отливной зоны. Полученный диапазон значений осмотического потенциала клеток листа составляет 2.2–4.0 МПа: наибольшее значение отмечено у *Triglochin maritima* (3.9 МПа), *Salicornia europaea* (3.8 МПа), *Tripolium pannonicum* (3.4 МПа), *Plantago subpolaris* (3.5 МПа), а наименьшие — у *Sonchus arvensis* (2.2 МПа). Экологический анализ показал, что наибольшие значения осмотического потенциала отмечены у суккулентных облигатных галофитов: *Salicornia europaea*, *Plantago maritima*, *Plantago subpolaris*, *Tripolium panonikum* (максимальное значение 4 МПа); у облигатных галофитов, которые являются криногалофитами: *Glaux maritima*, *Honkenia peploides*, *Bolboschoenus maritimus*, *Eleocharis uniglumis* диапазон значения в сравнении с предыдущей группой ниже (максимальное значение 3.6 МПа); а у гликофитов *Sonchus arvensis* максимальные значения осмотического потенциала не превышают 2.2 МПа. Проведенное исследование показало, что наиболее приспособленными в условиях исследуемого побережья оказались те суккулентные галофиты (*Salicornia europaea*, *Plantago maritima*, *Plantago subpolaris*, *Tripolium panonikum*), которые запасают воду в специализированных тканях и тем самым могут поддержать свой осмотический потенциал на постоянном уровне при меняющихся климатических условиях.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ №12-04-01008-а, проекта № 635-12 Министерства образования и науки РФ и Программы стратегического развития ПетрГУ.

## ПРОТЕКТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЭКЗОГЕННОЙ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ НА РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ

Стеценко Л.А., Шевякова Н.И.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

E-mail: larstet@mail.ru

Исследовали влияние экзогенной АБК на гликофит *Phaseolus vulgaris* L. и галофит *Mesembryanthemum crystallinum* L. при солевом стрессе. Растения выращивали в водной культуре в факторостатных условиях. В питательную среду ювенильных растений фасоли и хрустальной травки одноразово вносили NaCl, длительность засоления составляла 6 сут. Концентрации NaCl были определены предварительно и составили 100 мМ

NaCl для фасоли и 300 мМ NaCl для хрустальной травки. Ежедневно в первые три дня засоления часть растений фасоли и хрустальной травки на 30 мин помещали корнями в питательную среду, содержащую NaCl с добавлением АБК до концентрации 1 мкМ. Солеустойчивость обоих видов растений, обработанных и не обработанных АБК, оценивали по показателям биомассы, содержанию хлорофилла, ионов  $\text{Na}^+$ , МДА, пролина, полиаминов (ПА) и цитокининов (ЦК). Засоление тормозило накопление биомассы растениями фасоли и хрустальной травки, снижало оводненность тканей и содержание хлорофилла, что сопровождалось повышением содержания МДА, пролина, ионов  $\text{Na}^+$ , кадаверина (Кад) и спермина (Спм). Обработка АБК в условиях засоления положительно повлияла на жизнеспособность растений, способствовала стабилизации водного и  $\text{Na}^+$  баланса, аккумуляции биомассы и сохранению хлорофилла, снижала интенсивность окислительного стресса и уровень NaCl-индуцированной аккумуляции пролина у обоих видов растений. Сравнение результатов опыта показало, что кроме идентичных ответов на действие АБК у фасоли и хрустальной травки имели место и значительные отличия. АБК в растениях фасоли при засолении вызывала стимуляцию синтеза ПА, в листьях содержание путресцина (Пут) повысилось в 2,7 раз, Спм — в 2,9 раз, а Кад в 5,3 раза по сравнению с вариантом без обработки АБК. В растениях хрустальной травки в присутствии АБК содержание Пут, Спд и Спм поддерживалось на уровне, достигнутом при солевом стрессе за исключением диамина Кад, содержание которого в корнях снижалось тем значительнее, чем выше было засоление среды.

Показано, что экзогенная АБК в условиях засоления вызывает стресс-индуцированное повышение содержания всех исследованных ПА в листьях фасоли, и мало влияет на их уровень у галофита хрустальной травки. Отличия проявились также и в том, что в ответ на совместное действие засоления и АБК существенно повышался в корнях и листьях хрустальной травки уровень ЦК зеатинового типа по сравнению с растениями фасоли.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 10-04-90417-Укр\_а.

## **СРАВНИТЕЛЬНО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ГЕНОТИПОВ МИСКАНТУСА В РАМКАХ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**Тараканов И.Г., Хохлов Н.Ф., Чижова М.В.**

*Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,  
Москва, Россия*

*E-mail: plantphys@timacad.ru*

Мискантус, *Miscanthus* spp., — многолетнее травянистое корневищное  $\text{C}_4$ -растение, происходящее из Восточной Азии. Мискантус обладает высокой эффективностью использования воды и колоссальной продуктивностью — урожайность сухой биомассы достигает 40 т с гектара.

Сегодня мискантус рассматривают как одну из наиболее перспективных культур для производства лигнино-целлюлозной биомассы для целей биоэнергетики и создания композитных материалов. Высокая биологическая продуктивность мискантуса проявляется и в условиях умеренного климата, что связано с повышенной холодоустойчивостью растений и способностью поддерживать в умеренном климате высокую интенсивность фотосинтеза за счет термоллабильности ключевых ферментов фотосинтеза Рубиско и пируватортофосфатдикиназы. В этом отношении мискантус выгодно отличается от большинства других  $C_4$ -растений, включая кукурузу, — у них активность ферментов при понижении температуры катастрофически падает. Повышенная холодоустойчивость мискантуса делает его перспективным кандидатом для интродукции в континентальные районы России.

Для целей биоэнергетики интерес представляют ряд генотипов мискантуса. *Miscanthus sinensis* более пластичен в отношении засухи, поэтому созданные на его основе сорта перспективны для возделывания в отсутствие искусственного орошения в районах, где наблюдаются кратковременные и средние по продолжительности засухи. В условиях Сибири установлена высокая зимостойкость популяций мискантуса китайского. *M. sacchariflorus*, обладающий наиболее высокой эффективностью использования воды, может быть использован в гибридных комбинациях с другими видами мискантуса. Мискантус гигантский *Miscanthus x giganteus* — спонтанный триплоидный гибрид от скрещивания тетраплоидной формы Мискантус сахароцветковый и диплоидной формы Мискантус китайский, отличается наиболее высокими темпами нарастания биомассы.

Основные риски при интродукции мискантуса в России связаны с пониженной зимостойкостью отдельных видов. В связи с этим важной задачей является отбор по результатам сравнительно-физиологического изучения генотипов мискантуса, пригодных для выращивания в условиях континентального климата. Работа по расширению ареала возделывания мискантуса на основе новых селекционных форм проводится в рамках международного географического эксперимента, включающего ряд стран Западной и Восточной Европы.

Работа выполняется в ходе проекта “OPTIMISC” FP7-KBBE-2011-5 7-й Рамочной Программы Европейского Союза, грант № 289159.

## **ЭКОФИЗИОЛОГИЯ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ ЗЛАКОВЫХ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОТИПОВ**

**Таран Н.Ю., Бацманова Л.М., Стороженко В.А., Светлова Н.Б.,  
Конотоп Е.А., Пацко Е.В.**

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина  
E-mail: l.batsmanova@gmail.com*

Экологическая физиология растений в условиях прогрессирующих глобальных изменений климата на планете, действия неблагоприятных факторов окружающей среды, ныне приобретает особое значение в современной физиологии. Проведено сравни-

тельное исследование физиолого-биохимических параметров растений семейства злаковых: десхампсии антарктической (*Deschampsia antarctica*), образцы которой были отобраны с различных островов прибрежной Антарктики, с растениями десхампсии карпатской (*Deschampsia caespitosa*) и пшеницы (*Triticum aestivum* L.) разных экотипов с целью изучения механизмов адаптации к действию окислительного стресса. Показано, что под действием окислительного стресса для растений десхампсии антарктической характерный высокий уровень активности антиоксидантных ферментов, увеличение содержания хлорофилла *a*, каротиноидов, сульфохиновазилдиацилглицерола (СХДГ), специфического растительного липида, который в структуре светособирающего комплекса ФС II стабилизирует гетеродимеры белков D1 и D2, поддерживает функциональное состояние реакционного центра ФСII и регулирует транспорт электронов, образуя липофильное окружение кармана QB. В результате окислительных трансформаций гликолипидов происходит снижение соотношения МГДГ/ДГДГ (22%). Методом неденатурирующего «зеленого» ДДС-На электрофореза идентифицировано 7 пигмент-белковых комплексов мембран тилакоидов. Показано количественные изменения общего содержания ССКII (олигомерной и мономерной форм), хлорофилла в зоне СР<sub>a</sub>, что соответствует пигмент-белковым комплексам ближней антенны. Выявлены изменения фрагмента аминокислотной последовательности белковой фракции ФС II, указывающие на их принадлежность к семейству белков PsbC и соответственно является фрагментом гена *psbc*. Отмеченные экофизиологические особенности адаптации *D. antarctica* свидетельствуют о ее биохимической пластичности, обеспечивающей устойчивость вида к лимитирующим факторам Антарктики. Для растений десхампсии карпатской характерно незначительное увеличение содержания галактолипидов и СХДГ, сохранение соотношения МГДГ/ДГДГ. Стратегия адаптации представителей разных экотипов *Triticum aestivum* направлена на стабилизацию про- антиоксидантного равновесия в фотосинтетических тканях и увеличение содержания галактолипидов. Показано, что экофизиологический подход к изучению физиологического ответа растений при действии окислительного стресса *ex-situ* позволяет охарактеризовать специфику стратегий адаптации у представителей разных экотипов.

### **СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕГИДРИНОВ В ТКАНЯХ КСИЛЕМЫ И КОРЫ *BETULA PLATYPHYLLA* SUKACZ. ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮЖНОЙ ЯКУТИИ**

**Татарина Т.Д., Бубякина В.В., Перк А.А., Пономарев А.Г., Васильева И.В.**

ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

E-mail: [anaponomarev@yandex.ru](mailto:anaponomarev@yandex.ru)

Впервые изучены сезонные изменения стрессовых белков-дегидринов в тканях ксилемы и коры побегов березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.), произрастающей в контрастных по природно-климатическим условиям регионах Центральной и Южной Якутии. При иммунодетекции с использованием поликлональных антител идентифици-

рованы две группы дегидринов (мол. м. 17-21 и 56-73 кД). Причем, мажорные 66 и 69 кД-дегидрины выявлены у большинства берез. У всех изученных берез проявляются общие черты в сезонных изменениях дегидринов тканей ксилемы и коры. Среднемолекулярные дегидрины наблюдались круглогодично с некоторым снижением в летние месяцы у берез обоих исследованных регионов. Дегидрины с мол. м. 18 и 21 кД выявлены только у берез Центральной Якутии в отличие от 17 кД-дегидрина, который характерен для берез обеих популяций. Низкомолекулярные дегидрины имели более выраженную сезонную динамику, чем среднемолекулярные. Эти белки полностью исчезали в летний период во время вегетации и вновь появлялись в конце сезона при подготовке древесных растений к покою. Уровень выявленных дегидринов в тканях ксилемы и коры являлся наиболее высоким в период глубокого покоя в зимние месяцы и совпадал с максимальной морозоустойчивостью деревьев.

Вместе с тем, именно при подготовке растений к покою проявлялись различия между тканями коры и ксилемы побегов берез. В предзимний период у берез Центральной Якутии в тканях коры, в отличие от ксилемы, низкомолекулярные дегидрины (17, 18, 21 кД) практически не выявлялись. Эти дегидрины в клетках коры обнаруживались только в сентябре. В южноякутской популяции березы накопление 17 кД-дегидрина в тканях ксилемы в августе значительно превосходило его накопление в коре. В это время синтез 17 кД-дегидрина в коре только начинался. В целом, в период покоя содержание дегидринов в ксилеме центрально- и южноякутской популяции берез несколько превышало таковое в клетках коры, что, вероятно, обусловлено разными механизмами формирования морозоустойчивости этих тканей. Некоторое превышение дегидринов в ксилеме, возможно, связано с процессами глубокого переохлаждения, характерного для данной ткани.

### **ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ ФОТОСИНТЕЗА И ПРОДУКТИВНОСТИ БЕЗ ХЛОРОФИЛЛА В: ОСОБЕННОСТИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА МУТАНТА ЯЧМЕНЯ *CHLORINA* 3613**

**Тютерева Е.В., Иванова А.Н., Желнинская И.Ю., Войцеховская О.В.**

*Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

*E-mail: ovoitse@yandex.ru; tuterlena@mail.ru*

Мутанты, лишённые хлорофилла *b* (Хлб), характеризуются редукцией антенных комплексов фотосистем и не способны изменять размер периферической антенны в зависимости от световых условий. Вследствие этого такие мутанты проявляют низкую фотосинтетическую активность, медленный рост, низкую вегетативную и семенную продуктивность и высокую светочувствительность по сравнению с диким типом. Вопросу адаптации мутантов *chlorina* к свету высокой интенсивности уделялось значительное внимание, однако, практически не изучено, как приспособляются такие мутанты к низкой интенсивности света, когда у растений дикого типа стимулируется биосинтез белков ССК и увеличивается размер Хлб-содержащей антенны. Мы исследовали мутант ячме-

ня *Hordeum vulgare* L. cv. *Donaria—chlorina* 3613 со сниженным уровнем хлорофилла *a* (Хла) и полным отсутствием Хлб в результате делеции в единственной копии гена, кодирующего хлорофиллид-*a*-оксигеназу, в составе ФСА которого частично редуцированы белки ССК I и ССК II. Растения в открытом грунте на стадии «кущения — выхода в трубку» на период 7 дней затеняли марлевыми пологами до  $800 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , что составляло 40% от полуденного уровня ФАР 2000—2500  $\text{мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . В работе использовали методы ВЭЖХ, ТЭМ, нативный и денатурирующий электрофорез, вестерн-блоттинг и иммунодетекцию; интенсивность видимого фотосинтеза измеряли инфракрасным газоанализатором LCA-4. Обнаружено, что семидневное затенение индуцировало необратимые перестройки ФСА мутанта. Содержание Хла возрастало вдвое, а интенсивность фотоассимиляции  $\text{CO}_2$  увеличивалась в три раза и достигала уровня таковой у дикого типа. Вегетативная и семенная продуктивность *chlorina* 3613 возрастала в несколько раз и также достигала уровня дикого типа. Изменялся характер световой зависимости фотосинтетической фиксации  $\text{CO}_2$ : снималось ингибирование фотосинтеза высокими интенсивностями света. В хлоропластах увеличивались число тилакоидов в гранах, степень стэкинга тилакоидов и размер люмена. Показано, что механизм достижения высокой эффективности фотосинтетической фиксации  $\text{CO}_2$  и продуктивности на фоне отсутствия Хлб включает дополнительный синтез РЦ ФС II, а также белков минорной антенны Lhcb4-6. Особенности пространственной организации и состава суперкомплексов ФСА *chlorina* 3613, позволяющие достигать высокой продуктивности фотосинтеза при отсутствии Хлб — компонента, необходимого для корректной сборки фотосинтетического аппарата всех высших растений — представляют предмет дальнейших исследований.

## ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО ОБМЕНА ПШЕНИЦЫ ПРИ ТЕПЛОВОМ ШОКЕ

**Французова В.П.<sup>1</sup>, Олюнина Л.Н.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Нижегородская государственная медицинская академия, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

E-mail: vpfrantsuzova@rambler.ru

Поддержание гомеостаза и формирование устойчивости организма к действию стрессора в значительной мере зависит от изменения водного статуса растения. При тепловом шоке (ТШ) интенсивность транспирации и поступление воды в растение являются определяющими факторами в возникновении дефицита воды. В настоящей работе исследование динамики проницаемости клеточных мембран и водного режима при действии ТШ на проростки пшеницы позволило выявить значение модификаций водного обмена в развитии термоустойчивости.

Эксперименты проводили с 5–6-дневными проростками яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта «Московская-35». После ТШ (42°С, 0-60 мин) определяли содержание воды (СВ), массу насыщения ( $m_{\text{нас}}$ ), относительное содержание воды (ОСВ) и водный дефицит листа (ВДЛ) согласно рекомендациям A. Pardossi et al., J. Flexas et al. Изме-



ряли водный потенциал ( $\Psi_w$ ) по E. Shanckel., концентрацию пролина— по L.S.Bates et al. Термоустойчивость оценивали кондуктометрическим методом по изменению проницаемости клеточных мембран: рассчитывали выход электролитов после ТШ (С), общее содержание электролитов ( $C_2$ ), индекс стабильности мембран растений (ИС). При статистической обработке использовали t-критерий Стьюдента, корреляционную зависимость оценивали по критерию Пирсона с помощью ПО Microsoft Excel 2007 и Primer of Biostatistics 4.03.

ТШ вызывал понижение СВ и развитие водного дефицита в побегах пшеницы. Известно, что уменьшение оводненности тканей пшеницы может происходить при активации транспирации. При 5–15 минутном ТШ  $\Psi_w$  проростков пшеницы возрастал, что косвенно подтверждает ускорение поступления воды в побеги растений. ИС мембран проростков пшеницы оставался высоким в течение ТШ и положительно коррелировал ( $r = 0.833$  при  $p \leq 0.05$ ) с величиной  $\Psi_w$ . Таким образом, активация транспорта воды в растениях важна для поддержания термостабильности мембран и, соответственно, формирования адаптации к ТШ.

Динамика накопления пролина (осмолит) имела колебательный характер с 2 максимумами: при 5-15 мин и 60 мин гипертермии. Аккумуляция осмолитов модифицировала водопоглощающую способность клеток: уменьшение ОСВ и нарастание  $m_{\text{нас}}$  побегов при ТШ происходило одновременно с увеличением суммы электролитов ( $C_2$ ) в тканях исследуемых проростков. Предполагается, что накопление осмолитов и поддержание ИС мембран при высокой величине ВДЛ могут быть связаны с защитным торможением роста побегов пшеницы. Такая реакция— один из компонентов адаптационного механизма к высокотемпературному стрессу.

## **ФОТОСИНТЕЗ И ТРАНСПОРТ АССИМИЛЯТОВ У РАСТЕНИЙ АДАПТИРОВАННЫХ К РАЗНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ**

**Хамидуллина Л.А., Баташева С.Н., Бакирова Г.Г., Салыхова Г.А., Чиков В.И.**

*Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань, Россия*

*E-mail: larxas@list.ru*

Представлены экспериментальные данные изучения фотосинтеза, транспорта ассимилятов и образования конечных продуктов ассимиляции  $^{14}\text{CO}_2$  растений картофеля выращенных при разной освещенности. Все параметры измерены при освещенности, к которой были адаптированы растения (25, 50 и 95% от полной солнечной освещенности). Как показали опыты, интенсивность фиксации  $^{14}\text{CO}_2$  при ненасыщающей освещенности (25% и 50%) была сходной. Небольшое превышение (10-15%) наблюдалось только при максимальной освещенности. С увеличением освещенности не зависимо от сорта возрастало количество меченого  $^{14}\text{C}$ -углерода, которое оставалось в листе-доноре ассимилятов. Анализ распределения  $^{14}\text{C}$  среди меченых веществ оставшихся через сутки после ассимиляции донорным листом  $^{14}\text{CO}_2$  показал существенное различие между разными

органами. В листе-доноре основная часть меченого углерода (60–70%) содержалась во фракции низкомолекулярных веществ, включающих и растворимые белки. Несколько меньше в этой фракции содержалось у листьев завершивших свой рост, но не получавших  $^{14}\text{CO}_2$ , для которых  $^{14}\text{C}$ -углерод поступал в виде «чужих» продуктов фотосинтеза. Еще меньше доля радиоактивности в этой фракции — у органов-акцепторов ассимилятов (верхушка побега). С возрастанием освещенности радиоактивность этой фракции увеличивалась как в органах-донорах  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов, так и в акцепторах. Среди  $^{14}\text{C}$ -меченых высокомолекулярных веществ наибольшее соотношение меченых белки/полисахариды было отмечено в зрелых листьях, получавших «чужие» ассимиляты. Несколько меньше этот показатель был у листьев-доноров  $^{14}\text{C}$  и еще меньше в верхушках-акцепторах ассимилятов. Повышение освещенности при выращивании растений увеличивало включение  $^{14}\text{C}$  в сложные белки (извлекаемые КОН и Тритон-Х100). Предлагается гипотеза, согласно которой с повышением освещенности возрастают репарационные процессы в фотосинтетическом аппарате и это увеличивает скорость оборачиваемости процесса синтеза/распад белковых компонентов хлоропластов.

## ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ РЕСУРСНЫХ КРИТЕРИЕВ

Харчук О.А.

*Институт генетики и физиологии растений АН Республики Молдова, Кишинев, Молдова*  
*E-mail: kharchuk.biology@mail.ru*

В связи с ускоренным ухудшением окружающей среды человека и природных ресурсов актуально «устойчивое развитие, которое предполагает удовлетворение потребностей нынешнего поколения без ущерба для возможности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности» (United Nations General Assembly, 1987). Содержание устойчивого развития в отношении водных ресурсов сформулировано как «больше урожая на каждую каплю воды» (Borlaug, 2000), хотя концепция касается и других природных ресурсов. Одним из ресурсных критериев является урожайный индекс (УИ), т.е. доля хозяйственно-полезной части (семена, плоды) в общей сухой массе растения. Внедрение в ходе «зеленой революции» 70х годов карликовых сортов пшеницы привело к росту урожая при увеличении УИ с 0,25 до ~ 0,50. Более высокие значения УИ характерны для детерминантных сортов. Повышение УИ осуществляется как на генетической, так и на физиологической основе: увеличение УИ сои с 0,35–0,53 (Schapaugh, Wilcox, 1980) до современных 0,55–0,60 наблюдается и для старых сортов (Pedersen, Lauer, 2004). В 2010–2012 гг. нами в вегетационных и полевых опытах были проведены определения некоторых ресурсных показателей продуктивности отдельных сортов и привитых (внутривидовых) растений сои *Glycine max* L. и томатов *Lycopersicon esculentum* Mill.

Установлено, что транспирационный коэффициент (ТК) выше у листьев растений сои полудетерминантного сорта Букурия по сравнению с детерминантным сортом Аура. Вели-

чина ТК листьев реципроктных прививок Аура/Букурия и Букурия/Аура является промежуточной между ТК непривитых сортов.

Максимальное значение УИ у детерминантного мелкоплодного сорта томатов Миллениум ( $0,64 \pm 0,11$ ), при урожае  $5,3 \pm 0,9 \text{ кг/м}^2$ , а минимальное—у индетерминантного крупноплодного сорта Дикая Роза ( $0,35 \pm 0,04$ ), при урожае  $8,5 \pm 1,0 \text{ кг/м}^2$ . Среднеплодный сорт Волгоградский 5/95 характеризуется средней величиной УИ ( $0,50 \pm 0,08$ ), при урожае  $4,9 \pm 0,8 \text{ кг/м}^2$ . У привитых растений Дикая Роза/ Волгоградский 5/95 величина УИ ( $0,50 \pm 0,05$ ), как у подвоя, при сохранении крупноплодности привойного сорта, но с более высоким урожаем ( $7,4 \pm 0,8 \text{ кг/м}^2$ ) относительно подвоя, что делает эту сортоподвойную комбинацию перспективной для устойчивого сельского хозяйства.

## **ЭВОЛЮЦИЯ УЧЕНИЯ ОБ АДАПТАЦИОННОМ СИНДРОМЕ РАСТЕНИЙ К ЗАСУХЕ НА УКРАИНЕ**

**Христовая Т.Е.**

*Запорожский национальный университет, Запорожье, Украина*

*E-mail: fizreab\_znu@rambler.ru*

В последнее время в связи с негативными изменениями экологической ситуации на Украине быстрыми темпами развивается учение об адаптационном синдроме растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, в том числе и к засухе.

Разные аспекты влияния засухи на растения и составляющие их жизнедеятельности в зависимости от условий окружающей среды разрабатывались отечественными учеными с начала XIX века. Этот этап характеризовался изучением особенностей адаптации растений к стрессовому фактору на уровне организма в контексте основных обобщающих процессов жизнедеятельности: водообмен, рост, развитие, продуктивность (XIX—начало XX вв.). Работы украинских фитофизиологов этого периода (С.М. Богданова, В.Р. Заленского, В.В. Колкунова) были представлены фрагментарными исследованиями вопроса.

Позднее происходит формирование учения о засухоустойчивости растений как самостоятельной проблемы фитофизиологии; расширение масштабов исследований на другие уровни организации: клеточный, тканевой, органный; первые обобщения экспериментальных результатов (20–80-е гг. XX в.). Академиками Е.Ф. Вотчалом и В.Н. Любименко были заложены физиологические основы изучения водного режима и засухоустойчивости растений. Весомый вклад в изучение этой проблемы внесли ученые Института физиологии растений АН УССР: Т.Т. Демиденко, А.А. Власюк, Д.Ф. Проценко, И.Г. Шматько, А.С. Оканенко, Х.Н. Починок, а также Всесоюзного научно-исследовательского института кукурузы: А.И. Задонцев, Г.Р. Пикуш, В.И. Бондаренко, М.Я. Трегубенко, В.И. Непомнящий, Г.Л. Филиппов.

На современном этапе происходит расширение изучения основных проблем засухоустойчивости растений на генетический и биохимический уровни и их последующая дифференциация на основе усовершенствования методов исследования и достижений смежных наук: клеточной инженерии, трансгенеза, ядерного магнитного резонанса и других. Активно изучают составляющие адаптационного синдрома растений к действию неблагоприятных факторов среды такие украинские физиологи: Н.Н. Мусиенко, Н.Ю. Таран, И.А. Григорюк, Л.Л. Кордюм, И.В. Косаковская, Е.А. Казаков и др. Характерной особенностью исследований этих ученых является системный подход к изучению целостного, кооперативного явления — адаптации растений к засухе на разных уровнях организации.

Таким образом, учение об адаптационном синдроме растений к засухе начало развиваться на Украине в XIX веке, в процессе становления прошло ряд этапов и сегодня является одной из актуальных проблем современной физиологии.

## **ВОВЛЕЧЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО (ЦИАНИДУСТОЙЧИВОГО) ПУТИ ДЫХАНИЯ В ЛИСТЯХ *HYLOTELEPHIUM TRIPHYLLUM* ПРИ РАЗНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ**

**Шелякин М. А.**

*ФГБУН Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
Сыктывкар, Россия*

*E-mail: shelyakin@ib.komisc.ru*

В последние годы в литературе вновь поднимается проблема взаимосвязи фотосинтеза и митохондриального дыхания в растениях и их автотрофных клетках. Появились данные об участии энергетически неэффективного, альтернативного дыхательного пути (АП) в поддержании окислительно-восстановительного баланса фотосинтезирующих клеток и адаптации растений к избыточной освещенности. Как правило, большая часть этих данных получена в лабораторных условиях на молодых проростках с формирующимся фотосинтетическим аппаратом (ФСА). В природных местообитаниях адаптивные реакции растений к световым условиям осуществляются на разных уровнях организации (от субклеточного до ценогического), включая сам ФСА. Целью нашей работы было изучить влияние освещенности на дыхание и соотношение дыхательных путей в листьях модельного объекта — очитка пурпурного (*Hylotelephium triphyllum* (Нав.). В природе вид отличается широкой экологической амплитудой, но предпочитает хорошо прогреваемые местообитания с умеренным затенением и увлажнением. По имеющимся в нашей лаборатории данным насыщение фотосинтеза листьев очитка светом наступает при ФАР 350–400 мкмоль/м<sup>2</sup>с. Опытные растения выращивали на делянке на полном солнечном свете; часть растений затеняли марлевым пологом, пропускающим 50% радиации. Дыхание зрелых листьев измеряли в течение вегетации по поглощению O<sub>2</sub> при температуре 20°C. Для характеристики дыхательных путей использовали метод специфических ингибиторов. Максимальные значения скорости общего дыхания (R<sub>c</sub>) листьев верхнего яруса, 200 нмоль/г (сырой массы) мин, отмечали в фазу цветения растений. В фазу 350

вегетативного роста и плодоношения величина  $R_l$  составляла соответственно 60 и 35 % от максимальной. Не выявили существенных различий в величине  $R_l$  листьев световых (С) и затененных (Т) растений. Доля АП в листьях верхнего яруса возрастала по мере роста и развития растений: от 40 до 65 % у СР и от 40 до 50 % у ТР; в листьях нижнего яруса соответственно от 30 до 45 % и от 40 до 55 %. Доля остаточного дыхания составляла в среднем 15 %. Таким образом, альтернативный путь вносил существенный вклад в дыхание листьев растений оттока пурпурного, произрастающих на насыщающем фотосинтезе свету. Можно полагать, что вовлечение АП способствовало регуляции формирования и использования фондов углеводов и предотвращало избыточное образование АФК в листьях.

Выполнение работы поддержано частично грантом УрО РАН 12-С-4-1015

## **НЕДЕСТРУКТИВНАЯ ИНДИКАЦИЯ СТРЕССОВОГО СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ ФЕНОЛЬНОГО ОБМЕНА**

**Шемер С.А., Феденко В.С.**

*Днепропетровский национальный университет имени О.Гончара,  
Днепропетровск, Украина  
E-mail: opticlub@ukr.net*

При изучении функционирования растительного организма в условиях действия экстремальных факторов среды возникает проблема быстрой и достоверной оценки стрессового состояния растений. В связи с этим существует необходимость дальнейшей разработки чувствительных неdestructивных методов, позволяющих оценить физиологическое состояние организма на протяжении всего периода адаптации. Фенольные соединения растений, являясь продуктами вторичного метаболизма с соответствующим структурным и функциональным разнообразием, обладая при этом свойствами селективного поглощения в УФ- и/или видимом диапазоне, представляются удобными объектами для подобных исследований.

Цель работы — изучение вариативности фенольного метаболизма культурных растений в стрессовых условиях воздействия антропогенных факторов на основе спектроскопии отражения и колориметрии.

В условиях модельного эксперимента изучали влияние токсичных доз металлов (кадмий, свинец, никель) и гербицидов класса хлорацетанилидов на прорастание и развитие семян культурных растений (кукуруза, сорго, гречиха, эхинацея) и параметры фенольного метаболизма (аккумуляцию общих фенольных соединений и накопление конечных продуктов их обмена — проантоцианов и антоциановых пигментов, а также локализацию этих соединений в вегетативных органах в тканях различных типов). Параллельно изменения пигментного состава тканей изучали неразрушающими методами спектроскопии отражения и колориметрии с представлением полученных результатов в колориметрических системах XYZ и CIELab 76.

Установлено, что действие токсикантов вызывало стрессовые реакции растений, что подтверждается изменениями индекса толерантности. Показано, что ответ растительного организма сопровождался изменениями фенольного обмена для всех изученных видов. Установлены регрессионные зависимости между накоплением маркерных фенольных соединений и индексом толерантности, которые дают возможность недеструктивной оценки состояния организма. Проанализирована локализация этих стрессовых метаболитов, которая подтверждает возможность применения методов спектроскопии отражения и колориметрии для дистанционной диагностики. Исследованы колориметрические параметры растительных тканей и показана их высокая регрессионная связь с распространенными маркерами растительного стресса.

Полученные результаты позволяют предложить новый методический подход к изучению стрессовых реакций растительного организма на основе спектральных исследований распределения фенольных метаболитов в тканях.

### **ВЛИЯНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО КРАТКОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИ НОРМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА**

**Шерудило Е.Г., Сысоева М.И.**

*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

*E-mail: sherudil@krc.karelia.ru*

Температура—один из важнейших факторов среды, регулирующих рост и развитие растений. Значительный прогресс достигнут в понимании реакций растений на постоянное действие низких или высоких температур, индуцирующих повышение их устойчивости. Однако нами ранее показано, что не только постоянное, но и периодическое кратковременное действие низких закаливающих температур вызывает рост холодоустойчивости. В то же время отклики растений на температурные колебания в области физиологически нормальных температур исследованы недостаточно.

Целью работы было изучить влияние периодического кратковременного действия физиологически нормальных температур на холодоустойчивость растений огурца.

Растения, выращенные до фазы полностью раскрытых семядолей при температуре 26°С в условиях фотопериода 16/8 или непрерывного света, подвергали в течение 6 суток ежесуточным снижениям температуры до 20°С на 2 ч в конце ночного периода или по завершении 24-ч цикла при круглосуточном освещении. По окончании опыта определяли холодоустойчивость листьев, а также оценивали реакцию растений на тестирующее охлаждение в темноте (+2°С × 3 сут).

Установлено, что ежесуточные 2-часовые снижения температуры с 26 до 20°С повышали холодоустойчивость листьев огурца как при фотопериоде 16/8 ч, так и в условиях круглосуточного освещения. Прирост устойчивости составил 0,9 и 1,2°С, соответ-

ственно. Предполагается, что растения воспринимают не только абсолютную величину температуры, но и температурный градиент, что согласуется с литературными данными об экспрессии у растений арабидопсиса ряда COR генов при умеренном снижении температуры. Тестирующее охлаждение растений вызвало 100% гибель как контрольных, так и опытных растений, выращенных при фотопериоде 16/8 ч, и лишь 65% — при круглосуточном освещении. Меньшая степень повреждения растений при круглосуточном освещении может быть связана с тем, что в условиях фотопериода кратковременные температурные воздействия проводили в темновой период суток, а, как известно, индукция CBF генов низкотемпературными воздействиями генерируются циркадными часами, которые, в свою очередь, модулируют отклики растений на холод в большей степени днем, чем ночью.

Таким образом, реакция растений на периодическое кратковременное воздействие физиологически нормальных температур, носит адаптивный характер, подготавливая растения к возможным более существенным изменениям температуры окружающей среды.

Работа выполнена при поддержке Программы Минобразования и науки (соглашение № 8050).

## АНАЛИЗ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ПО СКОРОСПЕЛОСТИ СОРТОВ ТОПИНАМБУРА

**Шерудило Е.Г.<sup>1</sup>, Фомина Ю.Ю.<sup>1</sup>, Котова З.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия*

<sup>2</sup>*Карельская ГСХОС Россельхозакадемии, Новая Вилга, Россия*

*E-mail: sherudilo@krc.karelia.ru*

В настоящее время усиливающийся интерес к здоровому образу жизни, правильному питанию и медицинским препаратам растительного происхождения благоприятствует активизации исследований по изучению как новых, так и уже известных в народной медицине растений, к которым, в частности, относится топинамбур. Уникальный химический состав этого растения, а именно, высокое содержание биологически активных веществ, обеспечивает многостороннее использование этого растения для человека. Кроме того, топинамбур накапливает за вегетационный сезон значительную биомассу, что позволяет отнести его к перспективным видам в кормопроизводстве северных регионов России. Однако эколого-физиологические характеристики *Helianthus tuberosus* L. изучены недостаточно для успешного внедрения в северной зоне.

С целью определения возможности выращивания топинамбура в Республике Карелия была проанализирована холодоустойчивость сортов топинамбура, различающихся по скороспелости.

Клубни сортов с различными сроками созревания (раннеспелый с. Скороспелка, среднеспелый с. Интерес 21 и позднеспелый с. Фиолетовый Рейнский) были высажены в соуды с песком и перенесены в камеру искусственного климата при температуре 23°С, ос-



вещности 8-10 клк и фотопериоде 8/16 ч. Растения выращивали при ежедневном поливе питательным раствором Кнопа до фазы 8-9 листа в течение 2-х месяцев. Холодоустойчивость листьев оценивали по методу ЛТ<sub>50</sub>.

Установлено, что большей холодоустойчивостью отличались раннеспелый сорт Скоропелка и среднеспелый сорт Интерес 21, в то время как позднеспелый сорт Фиолетовый Рейнский оказался менее холодостойким. Основываясь на полученных предварительных результатах исследования адаптивного потенциала топинамбура, можно рекомендовать раннеспелые и среднеспелые сорта для эффективного выращивания в условиях Севера.

## РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ ОРНИТОФИЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ АРКТИКИ НА УВЕЛИЧЕНИЕ АЗОТА

Шмакова Н.Ю.<sup>1</sup>, Марковская Е.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского НЦ РАН,  
Кировск, Россия

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия  
E-mail: volev@sampo.ru

Низкое содержание азота ограничивает рост растений в Арктике. Однако на этом фоне бедных по азоту территорий существуют обогащенные органическим веществом местообитания — птичьи базары, на склонах которых формируются орнитофильные сообщества. Эти сообщества являются естественной модельной системой, которая позволяет анализировать реакцию отдельных растительных организмов на добавку азота.

Цель работы — изучение содержания фотосинтезирующих пигментов и общего азота у растений и лишайников, произрастающих в орнитофильных сообществах.

Исследования проведены в арктической тундре на о. Западный Шпицберген (мыс Старостина) в сообществе на склоне под птичьим базаром. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в спиртовой вытяжке определяли по общепринятым методикам спектрофотометрически по оптической плотности при длинах волн для хлорофиллов 665 и 649 нм, каротиноидов — при 470 нм. Содержание общего азота определяли методом Кьельдаля. По градиенту от птичьего базара было заложено 7 пробных площадей. На исследуемой трансекте исследовали 27 видов, в том числе 15 видов высших сосудистых растений, 7 видов мхов и 5 лишайников.

Реакция на увеличение плодородия почвы по содержанию поглощенного азота выявила среди сосудистых растений две группы. В группу видов, которые не увеличили содержание азота по сравнению с естественными условиями относятся: *Oxyria digyna*, *Bistorta vivipara*, *Cerastium alpinum*, *Salix polaris*. Во второй группе увеличение содержания общего азота может составлять 15–70% у видов рода *Saxifraga* и 50–100% у злаков (*Puccinellia*

*phryganodes*, *Dupontia pelligera*, *Lusula confusa*). Реакция мхов и лишайников выражена слабее и содержания азота увеличивается на 30–40% (*Aulacomnium palustre*, *Sanionia uncinata*, *Peltigera rufescens*).

Увеличение содержания фотосинтетических пигментов в условиях орнитофильных сообществ (на 25–100%) по сравнению с естественными условиями произрастания отмечено только у злаков сем. Juncaceae (*Lusula confusa*) и сем. Poaceae (*Puccinellia phryganodes*, *Alopecurus borealis*). У остальных видов сосудистых растений и лишайников достоверного увеличения содержания пигментов пластид не отмечено. У мхов (*Sanionia uncinata*, *Aulacomnium palustre*, *Hylocomium splendens*) содержания пигментов, особенно, хлорофиллов увеличивается в 2 раза.

Исследование показало различную реакцию видов разных таксономических групп на увеличение азота в орнитофильных растительных сообществах Арктики.

Работа поддержана грантом РФФИ № 12-04-01008-а.

## ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛЯЦИИ БИОСИНТЕЗА АНТОЦИАНОВ У ПШЕНИЦЫ *TRITICUM AESTIVUM* L.

Шоева О.Ю., Хлесткина Е.К.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия  
E-mail: olesya\_ter@bionet.nsc.ru

Фиолетовая пигментация различных органов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.,  $2n = 6x = 42$ , аллополиплоидный геном ВВААDD) обусловлена антоциановыми соединениями, биосинтез и регуляция которых достаточно полно исследованы у модельных видов растений. У пшеницы на сегодняшний день выделены лишь нуклеотидные последовательности ряда структурных генов, кодирующих ферменты биохимического пути, однако их функциональная активность при формировании признаков фиолетовой окраски остаётся малоизученной.

В данной работе с помощью сравнительного транскрипционного анализа структурных генов биосинтеза антоцианов у контрастно окрашенных генотипов пшеницы были идентифицированы регуляторные гены, которые кодируют MYB- и MYC-подобные транскрипционные факторы. В отличие от большинства видов растений, у которых регуляция биосинтеза антоцианов связана с активацией блока так называемых «поздних» генов, у пшеницы ключевой точкой регуляции биосинтеза антоцианов является активация одного из «ранних» генов (гена, кодирующего флаванон-3-гидроксилазу, F3H).

У пшеницы выявлены гомеологичные (возникшие вследствие дупликации всего генома), а в отдельных случаях, и, паралогичные (возникшие вследствие дупликации сегментов

хромосом) копии структурных и регуляторных генов биосинтеза антоцианов. Показано, что между копиями существуют функциональные отличия, которые связаны либо с тканеспецифичной активацией транскрипции определенных копий, либо с количественными отличиями в транскрипции разных копий одного и того же гена. Выявленные особенности генетической регуляции биосинтеза антоцианов пшеницы обсуждаются в докладе.

Исследование выполнено при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (12-04-33027\_мол-а-вед), программы Молекулярная биология РАН и гранта Президента Российской Федерации для молодых докторов наук (МД-2615.2013.4).

### **КОРРЕЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ФЕРМЕНТОВ И ПАРАМЕТРОВ ВОДНОГО СТАТУСА В ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ *ZEA MAYS* L ПРИ ОКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ, ОБУСЛОВЛЕННОМ ЗАСУХОЙ**

**Штефырца А., Меленчук М., Брынза Л., Алуки Н.**

*Институт Генетики и Физиологии Растений АНМ, Кишинев, МД 2002, ул. Лесная 20  
E-mail, [anastasia.stefirta@gmail.com](mailto:anastasia.stefirta@gmail.com)*

Исследована корреляция изменений параметров водного статуса и активности антиокислительных ферментов, обусловленных острым недостатком влаги, в листьях растений с различным потенциалом устойчивости к засухе. Установлено, что устойчивости растений отчетливо зависит от способности регулировать степень гидратации тканей, а также от степени активации ферментов антиокислительной защиты. Повреждения, обусловленные обезвоживанием, являются следствием не только прямого эффекта засухи на клеточные мембраны, но и недостаточности функционирования системы антиокислительной защиты, проявляющейся в ингибировании каталазы. Коэффициент корреляции активности каталазы и величины дефицита насыщения тканей водой составляет у устойчивых к засухе растений 0,96, а у чувствительных 0,22. Несоответствие во взаимосвязи «активность СОД — активность КАТ», обнаруженной в листьях растений неустойчивого гибрида в условиях засухи, обусловлено их низкой способностью регуляции водного статуса и гомеостатирования внутренней водной среды. Обезвоживание тканей индуцирует изменения в соотношении активностей антиокислительных ферментов: снижается доля участия супероксиддисмутазы, каталазы и аскорбатпероксидазы, и увеличивается доля гваяколпероксидазы и глутатионпероксидазы. Усиление засухи во времени вызывает существенное снижение амплитуды и скорости увеличения активности ферментов антиокислительной защиты. Устойчивые к засухе растения, благодаря их способности поддерживать оводненность тканей на относительно высоком уровне, меньше повреждаются реактивными формами кислорода и, соответственно, у них в меньшей степени активизируются пероксидазные ферменты. Водный и окислительный стрессы, обусловленные засухой, вызывают нарушения функциональных взаимоотношений органов вследствие

принципиальных различий в степени изменений водного статуса, окислительных де-струкций и активности антиокислительных ферментов. Особенно чувствительны к не-достатку влаги в почве являются корни; стебли же являются зоной с относительно ста-бильным водным статусом, направленным на защиту меристем генеративных органов. Следовательно, подтверждена гипотеза, в соответствии с которой, вода является факто-ром, вовлеченным в регуляцию функциональной активности растения, способствует под-держанию координированных взаимоотношений между органами и выполняет, наряду с другими факторами, функцию интеграции не только на уровне клеток, но и организма.

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНОВ *CLC SUAEDA ALTISSIMA (L.) PALL***

**Шувалов А.В.<sup>1</sup>, Орлова Ю.В.<sup>1</sup>, Халилова Л.А.<sup>1</sup>, Мясоедов Н.А.<sup>1</sup>,  
Беляев Д.В.<sup>1,2</sup>, Балнокин Ю.В.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: laursen1243@mail.ru

У галофитов в условиях засоления может возникать проблема поддержания концентраций Cl<sup>-</sup> в цитоплазме клеток на нетоксическом уровне. Мы предположили, что в Cl<sup>-</sup> гомеостатировании цитоплазмы важную роль играют Cl<sup>-</sup>/H<sup>+</sup>-антипортеры — белки из семейства CLC. Функционирование Cl<sup>-</sup>/H<sup>+</sup>-антипортера было продемонстрировано нами ранее в клетках корня галофита *S. altissima*. Для более детального изучения функционирования данного антипортера необходимо идентифицировать нуклеотидную последовательность кодирующего его гена, что позволит, в частности, оценить его вклад в солеустойчивость, определить организменную и внутриклеточную локализацию. Настоящая работа посвящена выявлению генов семейства *CLC S. altissima* и определению их нуклеотидных последовательностей.

Исследования проводили на растениях *S. altissima*, выращенных в водной культуре в условиях умеренного засоления (100 мМ NaCl). В некоторых экспериментах рассматривались и другие условия засоления. Основные использовавшиеся методы: программный и визуальный анализ нуклеотидных последовательностей (Oligo, Blast, BioEdit), ПЦР с обратной транскрипцией (ОТ-ПЦР), молекулярное клонирование фрагментов ДНК в плазмидные векторы, 3' - и 5' - RACE (Rapid Amplification of cDNA Ends), секвенирование ДНК, создание и анализ обогащенной (фрагментами 2000–3000 пар оснований) библиотеки кДНК, нозерн анализ с использованием радиоактивно и нерадиоактивно меченых зондов и другие.

Так как геном *S. altissima* не секвенирован, для выявления экспрессирующихся генов *CLC* использовали вырожденные праймеры. Праймеры были подобраны к консенсусной последовательности полученной при выравнивании генов *CLC* растений: *Oryza sativa*, *Nicotiana tabacum*, *Glycine max*, *Thellungiella halophita*, *Citrus trifoliata*, *Zea mays*, *Arabidopsis thaliana*, *Ricinus communis*, *Solanum tuberosum*. Используя подобранные праймеры, методом ОТ-ПЦР с тотальной РНК, выделенной из корней *S. altissima*, амплифицировали кДНК размером ~300 п.н. Этот фрагмент лигировали в вектор pTZ57 и клонировали в *E.coli*, затем секвенировали. Анализ клонированной кДНК в BLASTN и BLASTX показал ее сходство с *CLC* генами других растений. В последующем данную последовательность использовали для подбора специфичных праймеров, а также в качестве матрицы для создания гибридизационной пробы для мечения. В результате были получены и проанализированы последовательности *CLC S.altissima*. Анализ по гомологии с ключевыми последовательностями известных *CLC* позволяет идентифицировать их в качестве антипортеров.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-04-00987-а.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХЛОРОФИЛЛА В ХЛОРОПЛАСТАХ СТЕПНЫХ РАСТЕНИЙ ВДОЛЬ ШИРОТНОГО ГРАДИЕНТА В ПОВОЛЖЬЕ**

**Юдина П.К., Иванова Л.А., Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Шавнин С.А.**

*Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

*E-mail: Polinayudina@uralweb.ru*

Одним из механизмов адаптации растений к условиям среды является изменение пигментного аппарата листьев. Изучение содержания хлорофиллов и каротиноидов в ассимилирующих органах растений в разных ботанико-географических районах позволяет оценить значение пигментного комплекса при адаптации растений к климату. Одновременное исследование структурных параметров хлоропластов (размеры и количество в единице площади листа) делает возможным изучать механизмы формирования пигментного комплекса на разных уровнях организации — от целого листа до единичного хлоропласта. Нами изучено содержание хлорофиллов и параметры хлоропластов у 36 видов растений вдоль широтно-зональной трансекты в Поволжье, включающей в себя три точки — с. Красное поле, Пензенская обл. (лесостепь); пос. Боярское, Волгоградская обл. (настоящая степь); с. Царев, Волгоградская обл. (опустыненная степь). В направлении с севера на юг с увеличением аридности климата вдоль изученного профиля среди доминантов и характерных видов в изученных сообществах закономерно увеличивалась доля ксерофитов от 0% в лесостепи до 80% в опустыненной степи и изменялось соотношение типов анатомии листа от преобладающего дорзовентрального до изолатерального и появления кранц-анатомии. При этом среднее количество хлоропластов в единице площади листа линейно возрастало

с 40 млн/см<sup>2</sup> до 60 млн/см<sup>2</sup>, но содержание хлорофиллов в единице площади листа показало нелинейную зависимость — с минимальными значениями в степной зоне и высокими значениями в лесостепи и опустыненной степи. Причиной такой сложной зависимости было изменение содержания хлорофилла в одном хлоропласте, которое существенно снижалось при переходе из лесостепной в степную зону с  $0,84 \times 10^{-9}$  до  $0,48 \times 10^{-9}$  мг. У растений опустыненной степи содержание хлорофилла в хлоропласте сохранялось на том же низком уровне, что и у степных растений, но значительное увеличение концентрации хлоропластов в листе приводило вновь к увеличению содержания хлорофиллов в единице площади листовой поверхности. Полученные результаты свидетельствуют о различной функциональной активности единичного хлоропласта у растений с разной степенью ксерофитизации и о существенном значении этого показателя при эволюционной адаптации растений к аридному стрессу.

**ИНДУЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ САЛИЦИЛОВОЙ И ЖАСМОНОВОЙ КИСЛОТ  
НА ЗАЩИТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КЛЕТОК ПШЕНИЦЫ ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ  
*BIPOLARIS SOROKINIANA* PAM.**

**Яруллина Л.Г., Ахатова А.Р., Касимова Р.И.**

*Институт биохимии и генетики УНЦ РАН, Уфа, Россия*

*E-mail: yarullina@bk.ru*

Развитие устойчивости растений против патогенов осуществляется в результате включения многих неспецифических защитных реакций, таких как генерация АФК синтез защитных белков, в том числе, ингибиторов протеолитических ферментов микроорганизмов (ИП). Синтез и секреция в растительные ткани протеолитических ферментов в наибольшей степени свойственна грибам с некротрофным типом питания. Один из представителей грибов такого типа — возбудитель корневых гнилей *B. sorokiniana*. Показано, что предобработка семян пшеницы салициловой (СК) и жасмоновой (ЖК) значительно снижает развитие на растениях корневых гнилей. Изученными механизмами действия СК против грибных болезней растений является активация ферментов про-антиоксидантной системы, а ЖК — активация ферментов-ингибиторов протеиназ. Вместе с тем, установлено взаимодействие сигнальных систем в развитии защитных реакций растений, в частности, показано, что усиление активности ИП может происходить под влиянием интермедиатов НАДФН-оксидазной сигнальной системы, а усиление активности ферментов, участвующих в накоплении лигнина, — под влиянием интермедиатов липоксигеназной сигнальной системы.

В настоящем исследовании была изучена взаимосвязь между интенсивностью накопления H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и выраженностью симптомов болезни, а также интенсивностью лигнификации клеточной стенки, активностью и экспрессией гена ингибиторов протеиназ в растениях

пшеницы, предобработанных СК и ЖК и инфицированных *B. sorokiniana*. Результаты исследований показали, что инфицирование листьев пшеницы грибом *B. sorokiniana* не оказывало существенного влияния на накопление  $H_2O_2$ , но повышало активность ИП на 45%. Предобработка инфицированной пшеницы СК индуцировала повышение концентрации эндогенной  $H_2O_2$  на 35% через 24 ч после инокуляции, что коррелировало с образованием лигнина и ослаблением симптомов болезни. В варианте с предобработкой инфицированной пшеницы ЖК, концентрация эндогенной  $H_2O_2$  незначительно отличались от контроля, вместе с тем существенно возрастала активность ИП. Полученные данные коррелировали с ослаблением симптомов болезни. Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что применение обоих индукторов устойчивости может быть эффективным в индукции защитного ответа растений пшеницы при инфицировании возбудителем корневой грили *B. sorokiniana*.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ\_поволжье\_а № 11-04-97037.



**СЕКЦИЯ 8**

**РОЛЬ УНИВЕРСИТЕТСКИХ КАФЕДР  
В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ  
В ОБЛАСТИ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ  
РАСТЕНИЙ**

**ПРЕПОДАВАНИЕ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И «БОЛОНСКАЯ СИСТЕМА»****Дмитриева Г. А.***Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия  
E-mail: dmitga@yandex.ru*

Главная задача высшего образования — сформировать профессиональную логику у обучаемого, что требует максимально длительного общения с преподавателем. В учебном плане необходимо выделять время не только для письменных контрольных работ, но и для семинаров, коллоквиумов. Более того, нужно соблюдать при формировании учебных планов последовательность в преподавании таких дисциплин как общая, органическая, коллоидная химия, биохимия, физиология растений. Введение 2-ступенчатого образования сильно сократило в бакалавриате аудиторных учебных часов. В этих условиях контролировать усвоение материала помогают регулярные тесты. Преимущества — фронтальный опрос студентов на каждом занятии, студенты регулярно занимаются, запоминают термины и названия, возможность корректировать ход дальнейшего обучения. Недостатки тестов: спектр вопросов ограничен, опасность запоминания неправильного ответа, тесты не формируют у студентов представления о растении как о цельной, саморазвивающейся, саморегулируемой, системе, о взаимосвязи различных процессов и зависимости их от внешних факторов. Для снижения процента угадывания ответов должно быть не менее 10 вопросов, а на выбор минимум 5 ответов.

Использование компьютера облегчило работу лектора, увеличился объем демонстрируемого иллюстрационного материала (презентации), легче проводить тесты. Однако доступность для скачивания презентаций снижает внимание на лекциях. На учебном портале кафедры размещаются тренировочные тесты для самостоятельной работы, программа дисциплины, вопросы для семинаров, списки учебной литературы и т.д.

Присоединение РФ к Болонскому процессу привело к введению в вузах балльно-рейтинговой системы (БРС) оценки текущей успеваемости: по итогам деятельности студента (работа на лекциях, лабораторных занятиях, тесты, коллоквиумы, рефераты и т.п.) в течение всего года накапливаются баллы, по которым выводится итоговая оценка без сдачи экзамена. Экзамен сдают те, кто недоволен оценкой или получил “неудовлетворительно”. Преимущества БРС: часть студентов стала заниматься регулярно, уменьшается доля случайности в итоговых оценках, у студентов объективное мнение о собственных знаниях, дает возможность администрации в середине семестра отчислять неуспевающих. Недостатки БРС: часть студентов, набрав минимум для оценки “удовлетворительно”, перестает заниматься, т.е. знакомится максимум с 70% программы. Нужно сохранить устный экзамен в конце года, это поможет студенту еще раз проанализировать весь материал.

**ЕЩЕ ОДИН ВЗГЛЯД НА СТУДЕНЧЕСКИЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРАКТИКИ****Камнев А.Н.***Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия**E-mail: dr.kamnev@mail.ru*

Всемирный информационный взрыв, глобализация, борьба за власть и ресурсы, ухудшение экологической обстановки порождают нездоровое настроение во всех слоях общества. Средства массовой информации пропагандируют потребительский образ жизни, поддерживая, с одной стороны, постоянное стремление к обогащению, материальному благополучию и комфорту, независимо от того, какой ценой они достигнуты (в том числе и в ущерб природе), а с другой — культивируя иждивенчество, инфантилизм, а соответственно безответственность, как перед обществом, так и перед природой. Деграция школьного образования и отсутствие у молодежи перспективы приводит к потере у нее интереса к учебе, науке, творчеству, к трудовой деятельности в целом. Встает вопрос: кто и как будет учиться, а затем работать в научной сфере, в частности, в области естественнонаучных направлений России завтра? Как, например, замотивировать молодежь идти учиться на биологический факультет или определенную кафедру? Как пробудить или (и) сохранить научный и творческий интерес у уже учащейся студенческой молодежи? Как расширить диапазон студенческих возможностей и подготовить резерв творческой молодежи на завтра?

Для решения этих задач кафедра физиологии растений биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова совместно с рядом кафедр факультета почвоведения этого же университета в течение нескольких лет пытается разработать новый тип производственной практики студентов. Целью данной комплексной студенческой практики является решение восьми основных задач:

1. закрепление знаний и практических навыков, полученных студентами из лекционных курсов и лабораторных занятий в стационарных вузовских условиях;
2. закомство с зональным разнообразием растительного мира и почвенного покрова;
3. знакомство с важнейшей группой первичных продуцентов — морскими и пресноводными фототрофными организмами;
4. обучение работать в полевых экспедиционных условиях, используя для научных целей портативные приборы;
5. приобретение знаний и навыков экспедиционного работника;
6. приобретение навыков педагогического мастерства;
7. участие в процессе ранней профориентации школьников;
8. организации студенческой клубной деятельности.

В восьмидесятые годы прошлого столетия на кафедре физиологии растений уже проводилась близкая по своей концепции и духу студенческая практика — морская экспедиция, но с потерей университетом судов ее реализация стала невозможной. Эта практика отличалась от вновь предложенной тем, что в ней отсутствовали четыре задачи, а именно: приобретение навыков педагогического мастерства, приобретение знаний и навыков,

необходимых экспедиционному работнику, и участие в процессе ранней профориентации школьников, организация студенческой клубной деятельности.

В настоящее время наиболее удобной педагогической площадкой для реализации такого рода проекта может быть детский летний эколого-биологический лагерь. Именно в лагере, помимо прохождения своей профессиональной биологической полевой практики, студенты проходят педагогическую практику, проводя занятия для школьников по биологическим дисциплинам. Совместные выходы в море, участие в качестве педагогов—гидов в походах, проведение лабораторных практикумов для детей позволяет студентам поучаствовать таким образом в процессе ранней профориентации школьников. В свою очередь, школьники в ряде случаев уже в лагере могут выбрать своей будущей профессии и со школьной скамьи заниматься научной деятельностью в рамках школьного или студенческого кафедральных кружков под руководством тех студентов, которые вели у них занятия в лагере. Такие дружеские научные контакты могут сохраняться длительные периоды. По приезде в Москву у студентов и школьников есть возможность совместно посещать клуб, позволяющий им продолжить свою профессиональную подготовку в качестве полевых исследователей и путешественников, готовить методические пособия для совместных экспедиционных выездов или работы в лагере. В процессе обучения в клубе студенты и школьники получают сертификаты подводников-исследователей, высотников, скалолазов. Они осваивают навыки оказания первой медицинской помощи и спасения на воде. Учатся организовывать экспедиции и экологические лагеря. У молодежи появляется реальное дело с элементами не хватающего им экстрима и ответственности за свою деятельность. В дальнейшем студенты могут вновь поехать в лагерь и передать свои знания подрастающему поколению, но уже в качестве не только биолога, но и инструктора по другим дисциплинам. Таким образом, ребята получают знания, которые могут пригодиться им в жизни, формируется сплоченная команда и появляются новые возможности для работы. В итоге у молодежи воспитываются чувство ответственности за свои поступки, поступки перед своими коллегами, также за окружающую природу. В построенной таким образом системе студенческой практики у молодежи изменяется мышление. У нее появляется желание к созиданию. Юноши и девушки становятся государственно мыслящими и заботливыми хозяевами окружающего нас мира, а не вандалами и бездельниками, а кафедра формирует резерв будущих замотивированных студентов и сотрудников. Настоящий опыт может быть использован другими ВУЗами.

## **КАФЕДРА ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИИ В ТОМСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ — ДАВНИЕ ТРАДИЦИИ И СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ**

**Карначук О.В., Карначук Р.А.**

*Томский государственный университет, Томск, Россия,*

*E-mail: olga.karnachuk@green.tsu.ru*

Основы преподавания и исследований в области физиологии растений в Томском университете были заложены в 1923 году с основанием кафедры. Ее создателем и первым за-

ведущим был ученик К. А. Тимирязева, неутомимый исследователь Сибири, Василий Васильевич Сапожников. В последующем кафедру возглавляли П.В. Савостин, один из основателей магнитобиологии, и К. Т. Сухоруков, ведущий специалист в области иммунитета растений. Начало современному периоду в формировании научной тематики было положено М.М. Окунцовым. С 1952 года одним из основных направлений исследований стало изучения влияния света различной длины волны на растения. Неожиданный отъезд Окунцева привел к закрытию кафедры в 1974. Воссоздание кафедры, формирование современной исследовательской тематики и инновационных подходов к обучению связано с именем Р.А. Карначук.

Современные исследования охватывают фотоморфогенез и его гормональную регуляцию, роль фитогормонов в регуляции светового развития, физиологию трансгенного растения. Новый импульс обучению студентов и исследовательской работе был задан с расширением границ научной экспертизы кафедры в область биотехнологии растений и микроорганизмов. Эти исследования включают: получение культуры тканей лекарственных растений; размножение и молекулярную диагностику безвирусного картофеля; фотоморфогенез базидиальных грибов лекарственного и пищевого назначения; молекулярную биологию, биоинформатику и геномику микроорганизмов. Студенты активно вовлечены в исследовательскую работу и имеют возможность получить знания и навыки не только в Томске, но и на базе двух филиалов кафедры в Институте физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН и Институте цитологии и генетики СО РАН и зарубежных лабораториях, партнерах кафедры.

### **ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММЫ БАКАЛАВРИАТА ПО ПРОФИЛЮ «ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ» И МАГИСТРАТУРЫ ПО ПРОГРАММЕ «ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ» В СООТВЕТСТВИИ С ФГОС**

**Киселева И.С.**

*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

*E-mail: Irina.Kiselyova@usu.ru*

Федеральные государственные стандарты ВПО, введенные в вузах с 2011 годы существенным образом изменили структуру ООП, требования к их реализации, определили рекомендованные профили. Во ФГОС по биологии в качестве рекомендованного обозначен профиль «физиология». Мы посчитали целесообразным в Уральском федеральном университете на биологическом факультете в соответствии со сложившимися традициями, научными школами и накопленным опытом реализовать не один физиологический профиль, а два: «физиология растений» и «физиология человека». Реализуется также магистерская программа «Физиология и биохимия растений».

Для этих программ разработаны соответствующие ООП, в которых, по сравнению с ГОС 2, изменены соотношение аудиторной и самостоятельной работы студентов, объема лекционных и практических/лабораторных занятий, заданы дисциплины по выбору студентов. Существенное сокращение часов БСП в бакалавриате повлекло за собой, с одной стороны,

пересмотр его содержания, а с другой—увеличение доли лабораторных работ в ходе магистерской подготовки. Произведена замена части спецкурсов как в бакалавриате, так и в магистратуре. Введены новые дисциплины в рамках магистратуры: биоинформатика, молекулярная биотехнология; расширены программы практикумов, в том числе, за счет увеличения доли раздела «физико-химические методы исследования растений». Это стало возможным благодаря приобретению по программе развития федерального университета современного оборудования: хроматомасс-спектрометра LC-MS WATERS, портативной системы для изучения газообмена и транспирации Li-Cor, секвенатора НК Applied Biosystems, Real-time PCR и др. Первые выпускники, обучающиеся по ФГОС магистерской программы «Физиология и биохимия растений» закончат обучение в текущем году. Это позволит проанализировать эффективность новых ООП и при необходимости скорректировать их. Уже сейчас понятно, что программа может получить новое название: «физиология и биотехнология растений».

Новая программа профиля «физиология растений» в бакалавриате начнет реализовываться с 2013/2014 учебного года.

### **РОЛЬ УЧЕБНО-ПОЛЕВОЙ ПРАКТИКИ ПО ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ-БИОЛОГОВ**

**Лабутина М. В.**

*Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевьева,  
г. Саранск, тел. (822)33-93-12  
E-mail: labutina-m@mail.ru*

Неотъемлемой частью учебного процесса является полевая практика. Учебно-полевая практика по физиологии растений—один из важнейших видов деятельности в педагогическом вузе. Данный вид практики входит в состав комплексной практики по физиологии растений, сельскому хозяйству и методике преподавания биологии, осуществляемой на 3 курсе биолого-химического факультета педагогического вуза.

Основной задачей практики является иллюстрация теоретического материала и закрепление знаний в области физиологии растений постановкой таких опытов, которые нельзя достаточно хорошо провести в условиях зимнего времени

Полевая практика по физиологии растений является продолжением практики по анатомии, морфологии и систематике растений.

В ходе практики студенты изучают влияние экологических факторов на морфо-анатомические структуры и физиологические процессы растений, как в природной обстановке, так и в условиях лабораторных, вегетационных и полевых опытов. Опыт проведения полевой практики позволяет организовать ее по индивидуально-групповому принципу, придавая практике исследовательский и краеведческий характер. Этому способствует проведение экскурсий, организация фенологических наблюдений и т.д. Кроме основных ра-

бот, предусмотренных календарным планом по физиологии растений, студенты выполняют и индивидуальные задания экспериментального характера. Им на выбор предлагается тематика полевых или вегетационных опытов экологической направленности. Например: «Особенности транспирации растений различных экологических групп», «Устойчивость растений к загрязнению воздушной среды». По последней теме нами разработана специальная программа, где предлагается изучение морфо-физиологических критериев растений в районах города с разной антропогенной нагрузкой.

При обработке и интерпретации результатов первостепенную роль играет использование математических методов. Внедрение их наряду с традиционными физиологическими способствует интеграции учебного процесса и стимулирует применение современных технологий при проведении занятий.

В ходе полевой практики студенты осваивают достаточно простые и наглядные методики, которые могут быть использованы учителями в школе при изучении ботаники и общей биологии. Наиболее интересные материалы используются для написания курсовых и дипломных работ. Выполнение дипломных работ, основанное на проблемах региональной экологии дает возможность изучения проблем устойчивости растений к неблагоприятным условиям окружающей среды на конкретных примерах, способствует более глубокой экологической подготовке будущих учителей биологии и химии.

Таким образом, в ходе проведения учебно-полевой практики по курсу «Физиологии растений» студенты приобретают знания, умения и навыки, необходимые им в дальнейшей педагогической работе.

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ**

**Назаренко Л.В.**

*ГБОУ ВПО Московский городской педагогический университет, Москва, Россия*

*E-mail: nlv.mgpu@mail.ru*

В настоящее время происходят значительные изменения в сфере отечественного высшего образования. Это касается перехода на стандарты третьего поколения, внедрения двухуровневой системы подготовки студентов, интеграции образования и науки, реализации компетентностного подхода и прочее. Все это требует формирования качественно новой образовательной среды, основанной на использовании и широком внедрении в учебный процесс современных инновационных технологий.

Инновации в образовании — это комплекс мероприятий по изменению целей, содержания методов и технологий; стилей педагогической деятельности и организации учебного процесса; системы контроля и оценки уровня подготовки студентов. Нельзя забывать и о формировании нового учебно-методического обеспечения, учебных планов и программ, а это ставит перед преподавателем новые задачи.



Инновации в преподавании физиологии растений заключаются в изменении организации учебного процесса — введении рейтинговой системы, использовании мультимедийных технологий при чтении лекций и проведении семинарских занятий, организации самостоятельной работы студентов и оценке их знаний, исследовательском характере лабораторных занятий. Внедрение рейтинговой системы потребует от преподавателя подготовки нового, основанного на последних достижениях науки, методического материала. Также необходимо изменить и приспособить систему контроля и оценивания работы студента к новому учебному процессу. Инновационные образовательные технологии предполагают использование электронных библиотек, которые открывают доступ для студентов к электронным учебным курсам и дополнительным методическим материалам через Интернет.

Дальнейшее развитие и внедрение инноваций в образовательный процесс университетов позволит предоставлять российским студентам не только высококачественное образование международного уровня, но и приведет к подготовке современных специалистов-профессионалов, способных самостоятельно находить и анализировать информацию, осваивать новые знания, успешно решать поставленные перед ними задачи.

## **КАК ОБУЧЕНИЕ СДЕЛАТЬ ИНТЕРЕСНЕЕ И ПОЛЕЗНЕЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ?**

**Стриж И.Г.**

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. Москва, Россия*

*E-mail: irina.strizh@mail.ru*

В настоящее время все большее внимание уделяют дифференциальному образованию, которое позволяет принимать во внимание не только базовый уровень подготовки обучающегося, но и индивидуальные способности к обучению и заинтересованность каждого студента. Книги, являющиеся классическим способом представления и внедрения знаний, к сожалению, не отражают динамичного развития науки и не способствуют интерактивному и персонализированному обучению. Практически в любой области физиологии растений постоянно появляется новая информация, которая, зачастую, не только не успевает быть представлена в печатных учебных пособиях, но и освещена в рамках лекционного курса. Подготовка современных специалистов становится невозможной без использования интернет-ресурсов. Вместе с тем, информация, представленная в сети интернет, требует от пользователя не только предельно точной формулировки задаваемого вопроса, но и сопоставления и комбинирования веб-документов, содержащих искомый концепт или фразу. Одной из задач преподавателя становится обучение студентов самостоятельно находить, оценивать и осознавать информацию, а также устанавливать взаимосвязи между известными им данными. Ранее мы неоднократно обсуждали перспективы использования онтологий для подготовки современных специалистов. Преимуществом онтологического подхода в образовании является именно возможность организации и использования информации для дифференцированного и индивидуального обучения. Используя онтологии студенты могут выйти на информацию, еще не представленную и не обобщенную в учебных пособиях. Студент

учится находить и осмысливать новую информацию и ассоциировать ее с полученной ранее на лекциях или из книг. Можно привести пример, когда студент, заинтересовавшийся концептом «позитивная регуляция развития», с помощью Gene Ontology нашел информацию по конкретному гену, транскрипция которого зависит от света, а продукт, которого участвует в регуляции ответов на абиотические стрессы и во включение серы в метаболизм растений. Даже несмотря на, казалось бы, узкий поиск информации по конкретному концепту онтологии, была получена информация, что восприятие света и метаболизм серы являются не отдельными, а взаимосвязанными процессами. Таким образом, самостоятельная работа с уже существующими онтологиями такими как Plant Ontology и Gene Ontology может заинтересовать студентов и позволить им расширить свой кругозор, получив знания, необходимые для качественного и всестороннего освоения дисциплины.

### **РАБОТА КАФЕДРЫ ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К МНОГОУРОВНЕВОМУ ОБРАЗОВАНИЮ**

**Тараканов И.Г., Яковлева О.С.**

*Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,*

*Москва, Россия*

*E-mail: plantphys@timacad.ru*

На волне прорывных научных и технологических разработок инновационного характера в биологии и интенсивном растениеводстве в наш лексикон сегодня вошли такие слова и понятия как “bioeconomy”, “biofarming”, “plant factory” и т.п. Новые направления работы и профессии требуют модернизации подготовки специалистов. В связи с переходом на уровневую систему образования в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева разработана и внедряется образовательная программа подготовки магистров сельского хозяйства «Фитотехнологии и биопродукционные системы» в рамках направления «Агрономия». Ее цель — подготовка магистра к деятельности, требующей углубленных теоретических и профессиональных знаний и навыков в области разработки, внедрения и реализации передовых наукоемких технологий в различных отраслях растениеводства и в сфере высоких фитотехнологий. Программа реализуется на базе кафедры физиологии растений с привлечением кафедр генетики и биотехнологии, растениеводства, защиты растений и некоторых других. Общенаучный цикл учебного плана включает, в частности, такие дисциплины как «Экологическая физиология растений», «Системный подход в биологии», «Генетика онтогенеза», «Стресс-физиология». В профессиональном цикле такие дисциплины как «Биотехнологии в растениеводстве», «Системы интенсивного культивирования растений», «Физиологические основы светокультуры растений». Некоторые курсы по выбору: «Онтогенетический морфогенез», «Регуляторные системы растений», «Биолого-технические системы жизнеобеспечения», «Фитотроника и климатотехника», «Средоулучшающие фитотехнологии», «Прецизионное растениеводство». Основанием для разработки данной авторской программы на кафедре физиологии растений послужил ее исторический опыт организации как фундаментальных, так

и прикладных исследований. В частности, работы по светокультуре растений, начатые еще под руководством акад. Н.А. Максимова, неразрывно связаны с исследованиями в области фоторегуляции физиологических процессов. Сегодня кафедра, продолжая эти традиции, участвует в разработке технологий культивирования растений в условиях светокультуры с использованием облучателей нового поколения на основе светоиспускающих диодов. Развитая экспериментальная база позволяет осуществлять эффективную подготовку магистрантов по этому и другим направлениям. Подготовка на кафедре магистров (наряду с преподаванием студентам бакалавриата физиологии и биохимии растений и аспирантурой) существенно расширяет ее возможности в организации учебной и научной работы.

## **ФИТОФИЗИОЛОГИЯ В ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ**

**Таран Н.Ю., Панюта О.А., Косык О.И.**

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина  
E-mail: tarantul@univ.kiev.ua*

Физиология растений, являясь фундаментальной биологической дисциплиной, призвана дать студентам базовые знания о функциональных системах растения, их взаимодействии и саморегуляции. Кроме того, для решения вопросов, связанных с интенсификацией растениеводства и охраной окружающей среды, физиология растений является обязательной дисциплиной в вузах не только биологического, но и сельскохозяйственного и природоохранного профилей. Успех преподавания физиологии растений предусматривает взаимосвязь научных исследований в вузах и учреждениях системы Академии наук и Агрпромышленного комплекса, что в свою очередь требует сочетание классических знаний с готовностью к постоянному освоению нового, с ориентацией на успешную реализацию на практике и интенсификацию инновационной деятельности.

Следует отметить, что до августа 2010 года в перечне биологических специальностей, по которым осуществлялась подготовка специалистов в высших учебных заведениях Украины, специальность «Физиология растений» не фигурировала как самостоятельная, а вместе с «Физиологией человека и животных» была составляющей специальности «Физиология». Выпускники вузов получали диплом по специальности «Физиология», которая соответствовала профессии «Физиолог», что вызывало определенные проблемы при трудоустройстве. Постановлением Кабинета Министров Украины от 27 августа 2010 г. специальность «Физиология растений» введена в перечень специальностей, по которым в вузах Украины осуществляется подготовка специалистов и магистров. Кроме того, в Национальном классификаторе профессий (КП) Украины 2010 года не было профессии «Физиолог растений». По инициативе кафедры физиологии и экологии растений Киевского национального университета имени Тараса Шевченко было поднято ходатайство о введении в КП профессии «Физиолог растений». В декабре 2012 г. профессия «Физиолог растений» введена в КП Украины.

Реформирование высшего образования, которое происходит в наше время требует мгновенных реакций на системные изменения в обществе для удовлетворения его потребности в подготовке нового поколения специалистов высшей квалификации, поэтому одной из актуальных задач, стоящих перед физиологами растений, считаем разработку современного Отраслевого стандарта высшего образования, соответствующего требованиям Европейской Болонской системы, с обязательным учетом специфики национальной парадигмы образования.

## **ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ В КАЗАНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**Тимофеева О.А., Хохлова Л.П.**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
E-mail: Olga.Timofeeva@kpfu.ru*

Рассматривается история зарождения и развития физиологии растений в Казанском университете, начиная с 70- гг. XIX в. и до настоящего времени. Эта история связана с именами таких крупных ученых, как Н.Ф. Леваковский, Е.Ф. Вотчал, В.А. Ротерт, М.С., Цвет, В.В. Лепешкин, А.М. Алексеев, И.Г. Сулейманов, И.А. Тарчевский и др, внесших значительный вклад в создание отечественной экологической и физико-химической физиологии растений. Описаны основные этапы формирования Казанского университета, достижения фитофизиологов Казанского университета, дается анализ современного состояния фундаментальных и прикладных исследований, посвященных выяснению структурно-метаболических механизмов адаптации устойчивости растений к неблагоприятным условиям окружающей среды и разработке нового направления — субклеточной и молекулярной стресс-диагностики сельскохозяйственных растений. Большое внимание уделяется организации и модернизации образовательной деятельности кафедры физиологии и биохимии растений, и перспективному ее развитию в постгеномную эру биологии.

## **ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И УЧЕБНАЯ РАБОТА НА КАФЕДРЕ БОТАНИКИ, ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ ПЕНЗЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ПО ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ РАЗНОГО УРОВНЯ ПО ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ**

**Хрянин В. Н.**

*Пензенский государственный университет, Пенза, Россия  
E-mail: viktor.khryanin@gmail.com*

Кафедра начала свою самостоятельную деятельность с 1948 г. Сейчас на кафедре работают 10 преподавателей (2 доктора наук, проф. и 8 к.б.н., доцентов). На кафедре имеется хорошая материально-техническая база для проведения учебных занятий и НИР (5

учебных, 1 научная лаборатория, 2 бокса, оснащенных современными приборами). При кафедре работает аспирантура по физиологии и биохимии растений (руководитель проф. В. Н. Хрянин). Под его руководством защищено 12 канд. диссертаций. Выпускники аспирантуры трудятся на своей кафедре и др. научных учреждениях. В магистратуре по профилю подготовки «Физиология растений» на 1 курсе обучается 5 человек. Студенты, занимающиеся НИР, ежегодно выступают с докладами на НСК (6–8 студентов). Сотрудники кафедры ведут исследования по основной теме: «Молекулярно-генетические и физиологические аспекты онтогенеза растений. Регуляция процессов роста, развития и проявления пола у растений. Фитогормоны и продуктивность с.-х. культур». За последние годы сотрудники кафедры опубликовали 4 монографии, 20 учебных пособий, 450 статей и тезисов, получили 4 патента на изобретения. Приняли участие в работе 90 Международных и Всероссийских конференций. В частности, в работе конгрессов FESPB, съездах и конференциях ОФР России. Организовали и провели несколько конференций, симпозиумов, V съезд ОФР (2003). Получены интересные результаты, подтверждающие эколого-гормонально-генетическую концепцию проявления пола, сформулированную В.Н. Хряниным и М. Х. Чайлахяном. Даны рекомендации по применению фитогормонов и бактериальных препаратов в растениеводстве по повышению урожая овощных, крупяных и технических культур. Осуществляется совместный проект с ПНИИ с.-х. РАСХН по снижению наркотических веществ в среднерусских сортах конопли. Сотрудники кафедры используют как традиционные, так и новые формы и методы обучения и оценки знаний. Кафедра участвует в разработке новых программ при переходе на двухуровневое образование, предусмотренное ФГОС. Преподаватели помогают в организации и проведении олимпиад по биологии и экологии. Проф. В. Н. Хрянин ежегодно является председателем жюри олимпиад и школьных конференций «Старт в науку».

### **ТВОРЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ**

**Чуб В.В., Лабунская Е.А., Аверчева О.В., Бассарская Е.М.**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: styxelenalab@gmail.com*

Одной из важнейших целей преподавания физиологии и биохимии растений является понимание взаимосвязей различных процессов в растениях и формирование у студентов физиологического подхода к изучению растительного организма. Механическое заучивание биохимических циклов или сигнальных систем создает поверхностные знания предмета. В связи с этим преподаватели нашей кафедры широко используют творческие задачи на семинарских занятиях со студентами. Идея творческих задач для студентов родилась из опыта проведения различных олимпиад для школьников, таких как Школьная Биологическая Олимпиада МГУ, Турнир Юных Биологов и других соревнований. Подобные мероприятия развивают способность мыслить в рамках биологических систем, позволяют ото-

брать наиболее способных ребят. Использование задач, подобных олимпиадным, в рамках программы по физиологии и биохимии растений действительно необходимо—они стимулируют самостоятельную работу с учебниками в течение семестра, заставляют студентов анализировать факты из разных разделов изучаемого курса и делать соответствующие выводы.

Подобные задачи часто основываются на данных реальных статей, что позволяет студентам потренироваться строить научные гипотезы и доказывать их. Кроме того, многие из задач объединяют в себе данные нескольких наук, что развивает в студентах междисциплинарный подход. К примеру, студенту могут предложить написать расщепление от скрещивания различных мутантов и описать их фенотип, основываясь на представлениях о роли конкретных генов и их взаимодействиях. Другой вид задач предлагает построение студентом обширных карт биохимических процессов, протекающих в каких-либо конкретных условиях, например, при прорастании семян масличных растений. При этом карта должна доказывать какое-либо положение, указанное в задаче, например, что при прорастании семян масличных растений должен активироваться ген альтернативной оксидазы АOX1. Из подобного рода задач родился еще один тип работы со студентами: настольная игра по биохимии растений «Биохимическое домино». Задача игроков в итоге—выстроить метаболическую карту. Игра помогает усвоить последовательность реакций в биохимических циклах, понять взаимодействия между ними и выбрать оптимальный с точки зрения затрат энергии путь (в игру введены также карточки с АТФ и восстановительными эквивалентами). Все это помогает студентам усвоить объемный и сложный курс физиологии и биохимии растений, понять взаимосвязи физиологии растений с другими науками.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- Andrianov A.D. 26  
Andrianov D.A. 26  
Averina N.G. 226  
Balan Victoria 156  
Belokurova V. B. 176  
Beyzaei Z. 226  
Boiko I.V. 27  
Brestic M. 30  
Bunyo L. 227  
Fomina I.R. 229  
Galibina N. 232  
Ivanov A.A. 229  
Ivanov L.A. 228  
Ivanova L.A. 228  
Karpyn O. 227  
Kershanskaya O.I. 110  
Khozin I.F. 338  
Kobyletska M.S. 27  
Kosyan A. 30  
Machnev A.K. 228  
Migalina S.V. 228  
Musatenko L.I. 28, 30, 31, 177  
Obuchovskaya L.V. 226  
Paly I.N. 29  
Rennenberg H. 228  
Reumann S. 140  
Ronzhina D.A. 228  
Semenova G.A. 229  
Shcherbachenko O.I. 230  
Sherbakov R.A. 226  
Sheyko E.A. 177  
Sokhan'chak R.R. 231  
Sytar O. 30  
Taran N. 30  
Terebova E. 232  
Terek O.I. 27, 227  
Toma S. 156  
Tsvilynyuk O. 227  
Tudorache Gh 156  
Vedenicheva N.P. 30  
Veliksar S. 156  
Vershilovskaya I.V. 226  
Voitenko L.V. 28, 31  
Абдрахимова Й. Р. 8  
Аверина Н.Г. 233  
Аверчева О.В. 9, 372  
Авксентьева О.А. 52  
Агабалаева Е.Д. 178  
Азарин К.В. 234  
Азаркович М.И. 32, 37, 207, 235  
Азарова Т.С. 68  
Аканов Э.Н. 130  
Акимкина Т.В. 39  
Акинчиц Е.К. 136, 144  
Аксенова Н.П. 120, 187  
Акулов А.Н. 112  
Алейникова А.Ю. 113  
Алексеева В.В. 64  
Алексеева Т.Ф. 248  
Алексеева-Попова Н.В. 236  
Алиева Зарина М. 237  
Алиева Земфира М. 33  
Алова А.В. 139  
Алуки Н. 104, 173, 356  
Алыбаева Р.А. 179, 283  
Андреев И.М. 63, 137  
Андрианов А.Д. 34, 35, 157, 162  
Андрианов Д.А. 34, 35, 157, 162  
Андрюшечкина Г.В. 187  
Анисимов А.В. 165  
Антонюк Л.П. 170  
Артюшенко Т.А. 238  
Архипов Д.М. 72  
Асрандина С.Ш. 283  
Астафурова Т.П. 253  
Атабаева С.Д. 179, 283  
Ахатова А.Р. 359  
Ахиярова Г.Р. 36, 65  
Ахметова А.И. 212  
Баик О.Л. 239  
Бакирова Г. Г. 10, 240, 347  
Балабан Н.П. 212  
Балаур Н. С. 12  
Балнокин Ю.В. 137, 323, 357  
Баранова Г.Б. 245  
Баранова Е.Н. 130, 133, 245  
Бассарская Е.М. 9, 372  
Баташева С.Н. 10, 347



Батова Ю.В. 241, 278  
Батыгина Т.Б. 180  
Баулина О.И. 138  
Бахтенко Е.Ю. 54, 249, 262, 273  
Бацманова Л.М. 286, 343  
Баштовая С.И. 172  
Безрукова М.В. 242  
Белавцева С.В. 49  
Белимов А.А. 68  
Беляев Д.В. 121, 137, 357  
Бендер О.Г. 243  
Бердицевец И.Н. 124  
Бердичевец Л.Г. 218  
Березина Е.В. 183  
Бернер Т. 126  
Бибикова Т.Б. 139  
Благова Д.К. 244  
Бобков С.В. 184  
Богдан М. М. 15  
Богданова Е.С. 141, 334  
Богомоллов Ю.В. . 300  
Богоутдинова Л.Р. 245  
Богуславская Л.В. 246  
Бойкова Н.В. 198  
Болондинский В.К. 98, 247  
Большакова Л.С. 326  
Болякина Ю.П. 37, 38  
Борисов А.Ю. 68  
Борисова Г.Г. 299  
Боровик О. А. 13  
Боровский Г.Б. 200  
Брагина О.А. 46  
Брель Н.Г. 218  
Брилкина А.А. 183  
Брынзэ Л. 104, 173, 356  
Бубряк И.И. 39, 40  
Бубряк О.А. 39, 40  
Бубякина В.В. 344  
Бугара И.А. 213  
Бударин С.Н. 41  
Будыкина Н.П. 248  
Букарев Р.В. 129  
Булатова С.В. 249  
Булычев А.А. 139  
Буньо Л.В. 250  
Бурмистрова Н.А. 290, 292  
Бурьгин Г.Л. 198  
Бурьянов Я.И. 64  
Бухарина И.Л. 185  
Буцанец П. А. 11, 14  
Бучачая С. 104, 173  
Быкова Е.А. 70  
Быстрова Е.И. 43  
Валеева Л.Р. 212  
Вартапетян А.Б. 76, 186  
Вартапетян Б.Б. 76, 186  
Васильева И.В. 344  
Васильева С.В. 224  
Васильченко Е.Н. 118  
Вассерман Л.А. 187  
Ведерников К.Е. 185  
Вележанинов И. О. 13  
Величко О.И. 251  
Вельмяйкин И.Н. 187  
Венжик Ю.В. 139  
Вепринцев В.Н. 190  
Вершинкин Д.А. 114, 115  
Веселов Д.С. 44, 102, 159  
Веселов С.Ю. 65  
Веселова Т.В. 45  
Веселовский В.А. 45  
Викторов А.Г. 116  
Власов П.В. 325  
Власова Н. С. 12, 152  
Власова Т.А. 252  
Воденев В.А. 144, 136  
Войников В.В. 146  
Войников В.К. 13, 269, 270  
Войтенко Л.В. 250  
Войцеконская С.А. 253  
Войцеховская О.В. 140, 345  
Воличенко М.И. 301  
Володина Н.А. 194  
Волошина Т.В. 254  
Воробьев Н.В. 46  
Воронин П.Ю. 332, 335  
Воронин П.Ю. 255  
Воронков А.С. 63  
Воронцов В.А. 12  
Воскресенская О.Л. 158  
Высоцкая Л.Б. 159  
Высоцкая О.Н. 189

Вячеславова А.О. 124  
Гаврилова О.Н. 303, 341  
Гаджиева И.Х. 256  
Галактионова М.В. 295  
Галдина Т.Е. 190  
Галибина Н.А. 47  
Галин И.Р. 193  
Гамаюнова С.Г. 319  
Гаранович И.М. 223  
Гарипова С.Р. 257, 302  
Гармаш Е. В. 13  
Гвоздева Е.С. 116  
Гендугов В.М. 48  
Генерозова И. П. 14, 17  
Гетман И.А. 115  
Глазунов Г.П. 48  
Глубшева Т.Н. 49  
Гогуэ Д. О. 258  
Голденкова-Павлова И.В. 124, 224  
Головацкая И.Ф. 50, 69, 194  
Головко Т. К. 13, 16, 259, 264, 287  
Голощанов А.П. 73  
Голяновская С.А. 120, 187  
Гомеа А.М. 129  
Гончарова Э.А. 160, 161  
Гончарук Е.А. 128, 195  
Горелова О.А. 138  
Горшков О.В. 112  
Грабельных О.И. 13, 146  
Граскова И.А. 200, 269, 270  
Гребенкина Т.М. 141  
Грибков А.Л. . 144  
Григорай Е. Е. 16  
Григорович С.В. 49  
Гришко В.Н. 260, 318, 238  
Гродзинский Д.М. 40, 261  
Грядунов Д.А. 115  
Гулевич А.А. 130  
Гуляева А. Б. 15  
Гуменюк А.П. 170  
Гумерова Е.А. 196  
Гумилевская Н.А. 32, 235  
Гусева А.В. 204  
Гуща Н.И. 261  
Далькэ И.В. 16, 259  
Данилова М.Н. 117, 122  
Двоеглазова А.А. 185  
Демидчик В.В. 142  
Демихова Д.С. 197  
Деревягина М.К. 224  
Джамалова С.Ш. 237  
Диловарова Т. А. 214  
Дмитриев А.П. 39, 40, 261  
Дмитриева Г. А. 362  
Добровольская О.Б. 51  
Доктырбай Г. 283  
Долгих Ю.И. 186, 189, 215  
Долгов С.В. 133, 245  
Долотова Е.С. 262  
Дорогина О.В. 272  
Дремук И.А. 263  
Дударева Л.В. 269, 270, 311  
Дымова О.В. 259, 264  
Дяченко А.И. 261  
Евдокимова О.В. 143  
Евсеева Н.В. 170, 198  
Егоров Д.Н. 162  
Егоров Н.П. 162  
Елисеева Ю. В. 199  
Емельянов В.В. 85, 265  
Еникеев А.Г. 211  
Ермаков И.П. 167  
Ермилова Е.В. 134  
Ерофеева Е.А. 266  
Ершова А.Н. 267  
Есков А.К. 43  
Ефимова М.В. 268  
Желнинская И.Ю. 345  
Жесткова И.М. 148  
Живетьев М.А. 200, 269, 270  
Жигалова Т. В. 9  
Жигачева И. В. 17  
Жижина М.Н. 271  
Жмудь Е.В. 272  
Жмурко В.В. 52  
Жужжалова Т.П. 118  
Жуковская Н.А. 43  
Журова П.Т. 319  
Загоскина Н.В. 128, 207, 249, 300  
Задворнова Ю.В. 53  
Закорчевный И.И. 163  
Залуцкая Ж.М. 134

Запевалова Д.А. 105  
Захарова Е.В. 63  
Захожий И.Г. 259  
Зейслер Н.А. 54, 273  
Землянухина О.А. 118, 190  
Злобин И.Е. 274  
Злотников А.К. 55  
Золотарёва Е.К. 149  
Зотикова А.П. 243  
Зубо Я.О. 113, 126  
Зуева Т.И. 56  
Ибрагимов Р.И. 275  
Ибрагимова С.М. 201  
Иваницкий А.Е. 78  
Иванов А.А. 276  
Иванов Б.И. 317  
Иванов В.Б. 43, 57  
Иванов И.И. 36  
Иванов Л.А. 277, 358  
Иванова А.Н. 345  
Иванова А.С. 196  
Иванова Л.А. 277, 358  
Иваченко Л.Е. 331  
Игнатъева С.Л. 164  
Ильинова М.К. 105  
Ионенко И.Ф. 165  
Кабашникова Л.Ф. 143  
Кабузенко С.Н. 81, 271  
Казакова А.С. 58  
Казнина Н. М. . 241, 278  
Калацкая Ж.Н. 59  
Калдыбеккызы Г. 283  
Камашева А.А. 185  
Камнев А.Н. 363  
Караваева А.В. 308  
Карначук О.В. 364  
Карначук Р.А. 364  
Карпец Ю.В. 279  
Карпеченко И.Ю. 190  
Карпеченко К.А. 190  
Карпеченко Н.А. 190  
Карташов А.В. 280  
Карташова Е.Р. 281  
Карягин В.В. 325  
Касимова Р.И. 359  
Катичева Л.А. 136, 144  
Каштанова Н.Н. 282  
Кваско Е. Ю. 119  
Кенжебаева С.С. 179, 283  
Кинтя П.К. 73  
Кириллов А.Ф. 172  
Кириллова И.Г. 60  
Кириллова Э.Н. 172  
Кириченко Е.В. 61  
Кириченко К.А. 146, 284  
Кирпичникова А.А. 127  
Киселева Г.К. 107, 308  
Киселева И.С. 62, 365  
Кит Н.А. 99  
Кияк Н.Я. 285  
Клаус А. А. 19, 295  
Клейменова Ю.Е. 195  
Ковалева Л.В. 63  
Коваленко М.С. 286  
Коготкова К.А. 97  
Козлова О.Н. 218  
Козьмик Р.А. 172  
Кокк А.А. 303, 341  
Коковкина Е. В. 259, 287  
Колачевская О.О. 64  
Колмыкова Т.С. 288  
Колупаев Ю.Е. 279, 289  
Комарова У.А. 50  
Комиссаров Г. Г. 18  
Кондратьева А.М. 190  
Коновалов С.Н. 168  
Кононенко Н.В. 133  
Кононов А.В. 297  
Конотоп Е.А. 286, 343  
Константинов Ю.М. 126  
Константинова Т.Н. 120, 187  
Копытина Т.В. 211  
Корецкая Ю.Л. 166  
Коробова А.В. 65  
Королькова Д.В. 340  
Корытько Л.А. . 83  
Косенко Я.В. 70  
Кособрюхов А.А. 120, 214, 290  
Костюкова Ю.А. 145, 209  
Косык О.И. 370  
Котляров В.В. 107  
Котов А.А. 66

Котова З.П. 205, 353  
Котова Л.М. 66  
Кочетов А.В. 131, 201  
Кравченко Л.В. 68  
Красавина М.С. 290  
Красновский А.А. 19, 20  
Крахалева А.В. 69  
Креславский В.Д. 120  
Кривошеев Д.М. 145  
Кривошеева А.Б. . 121  
Крикунова Н. И. 17  
Круглова А.Е. 202  
Круглова Н.Н. 203  
Крупа Н.Н. 291  
Ктигорова И.Н. 67  
Кудоярова Г.Р. 36, 44, 102  
Кудрина А.А. 164  
Кудрякова Н.В. 117, 122  
Кузмичева Ю.В. 68  
Кузнецов В.В. 113, 117, 122  
Кузнецов Вл.В. 125, 268, 340  
Кузнецов Н.В. 162  
Кузнецова В.А. . 331  
Кузнецова Н.А. . 292  
Кузовкина И.Н. 204  
Кулагина Ю.М. 69  
Кулаева О.Н. 117, 122  
Куликова А.Л. 292  
Кулишова Г.А. 234  
Кулыгин А.К. 70  
Курамшина З.М. 293  
Куренина Л.В. 130  
Курина Л.Е. 136  
Куркова Е.Б. 137  
Куршунжи Д.К. 221  
Курьята В. Г. 15  
Кучаева Л.Н. 312  
Лабунская Е.А. 70, 372  
Лабутина М. В. 366  
Лаврентьева С.И. . 331  
Лаврова В.В. 205  
Ладыгин В. Г. 294  
Лайдинен Г. Ф. 241, 278  
Лайкова Л.И. 51  
Ламан Н.А. 59  
Лапина Т.В. 134  
Лапшин П.В. 128  
Ларионова А.А. 206  
Ласточкин В.В. 265  
Латовски Д. 264  
Лашко В.В. 246  
Лебедев В.Г. 206  
Леонова О.Г. 72  
Лисник С. С. 166  
Литягина С.В. 80, 88  
Лихолат Ю.В. 303  
Лобакова Е.С. 138  
Лобачев Ю.В. 198  
Лобачевская О.В. 71  
Ложникова В.Н. 77  
Ломин С.Н. 64, 72, 131, 145  
Луговая А.А. 279  
Лукаткин А. С. 282, 305  
Лукьянов А.А. 338  
Луценко Э.К. . 295  
Лысенко Е. А. 19, 295  
Лю.Жуй 312  
Любушкина И.В. 146, 284  
Ма Г. 265  
Магомедалиева В.К. 207  
Маевская С.Н. 255, 309  
Мазник К.С. 123  
Максимов А.П. 297  
Максимов Т.Х. 297, 322  
Максимова Л.А. 211  
Максимовских С.Ю. 73  
Малева М.Г. 299  
Малиновский В.И. 131  
Малышев Р. В. 259, 304  
Малюш М.К. 217  
Мамаева А.С. 147  
Мамчур О.В. . 96  
Манжелесова Н.Е. 74, 83  
Маракеев О.А. . 300  
Марей М.М. 129  
Маркин Н.В. 301  
Маркова О.В. 302  
Маркова Ю.А. 270  
Марковская Е.Ф. 290, 303, 341, 354  
Мартинек П. 51  
Мартиросян Ю.Ц. 214  
Мартынова Н.В. 303

Маслов Ю. И. 91  
Маслова С. П. 304  
Маталин Д.А. 323  
Матвеева Е.М. 205  
Матвеева Н.А. 119, 123, 199  
Матора Л.Ю. 198  
Медведев С.С. 65, 75  
Мейчик Н.Р. 167  
Меленчук М. 104, 173, 356  
Мелешин А.А. 224  
Мелешко А.А. 286  
Меметов Ш.С. 101  
Миляева Э.Л. 76, 77  
Минаева Е.С. 134  
Минич А.С. 78  
Минич И.Б. 78  
Минкина Ю.В. 63, 79  
Митина Т. 172  
Михайлов А.Л. . 307  
Михайлова И.Д. 305  
Михайлова Ю.М. 85  
Михэилэ В.В. 221  
Мишарина Т. А. 17  
Молоканов Д.Р. 310  
Молчан О.В. 59  
Моль К.Э. 97  
Мудрова Е.В. 54  
Мурашев С.В. 306  
Мурзабаев А.Р. 242  
Мусиенко Н.Н. 327  
Мустафаев О. 124  
Мысягин С. А. 22  
Мясоедов Н.А. 137, 357  
Назаренко Л.В. 195, 367  
Нармуратова Ж. 283  
Наумкина Т.С. 68  
Неверов К. В. 20  
Невмержицкая Ю.Ю. 307  
Недведь Е.Л. 143, 233  
Ненько Н.И. 308  
Нестеров В.Н. 141, 334  
Нечаева Т.Л. 195, 207  
Николаева М.К. 255, 309  
Николаева Н.Н. 105  
Николаева Т.Н. 128  
Никонорова Н.А. 209  
Нимаева О.Д. 150  
Новикова Г.В. 80, 147  
Новицкая Г.В. 310  
Новицкая Л.Л. 47  
Новицкий Ю.И. 310, 337  
Новоселова Е.И. 275  
Носкова Ю.С. 183  
Носов А.В. 147, 154  
Носов А.М. 210  
Нохсоров В.В. 311  
Нурминская Ю.В. 211  
Нямсурэн Ч. 212  
Обозный А.И. 289  
Обручева Н.В. 80, 88  
Ольчев А.В. 324  
Олюнина Л.Н. 346  
Омельченко А.В. 81, 213  
Онойко Е.Б. 149  
Опанасенко В.Ф. 303  
Орехова Т.П. 82  
Орлов Ю.Л. 51  
Орлова О.В. 24  
Орлова Ю.В. 137, 357  
Османов Р.М. 237  
Осмоловская Н.Г. 312  
Павлючкова С.М. 314  
Панова Г.Г. 67  
Панюта О.А. 370  
Папкина А.В. 200  
Парамонова Н.В. 315, 316  
Парахин Н.В. 68  
Пацко Е.В. 343  
Пашковский П.П. 125, 280  
Перк А.А. 311, 317, 344  
Пермякова Н.С. 78  
Перфильева А.И. 200  
Петров К.А. 311, 317  
Петрова П.И. 249  
Петрова С.Н. 68  
Пиотровский М.С. 148, 154  
Писковая О.Н. 318  
Плащина И.Г. 187  
Побежимова Т.П. 146, 284  
Подорванов В.В. 149  
Полищук А.В. 149  
Полтавская Р.Л. 169

- Поляков В.Ю. 133  
Полякова Л.В. 319  
Полякова Л.И. 76, 186  
Полякова М.Н. 214  
Полякова Н.В. 83  
Помякшева Л.В. 168  
Пономарев А.Г. 344  
Попова А.С. 322  
Попова Л.Г. 323  
Попова Н.Ф. 312  
Попова О.М. 51  
Пороховник Т.Д. 326  
Постригань Б.Н. 244  
Потапова Т.В. 126  
Прадедова Е.В. 150  
Придача В.Б. . 324  
Прокопьева Ю.П. 127  
Прокофьева М.Ю. 204  
Прудникова О.Н. 325  
Прядехина Е.В. 128  
Птушенко В.В. 9  
Пузанский Р.К. 151  
Пузина Т. И. 152  
Пухальская Н.В. 164, 326  
Пшеницына Т.С. 46  
Пшибытко Н. Л. 19, 296  
Пюрко О.Е. 327  
Радюкина Н.Л. 340  
Разанцвей В.И. . 331  
Разанцвей П.Н. . 331  
Ракитин В.Ю. 325  
Ракитина Т.Я. 325  
Ралдугина Г.Н. 129  
Рассказов Д. А. 201  
Рахманкулова З.Ф. 255, 332  
Репкина Н.С. . 333  
Решетников В.Н. 222  
Ржевская В.С. 84  
Рибас-Карбо М. 8  
Ривис И.Ф. 96  
Ризванов И.Х. 209  
Розенцвет О.А. 141, 334  
Розова Х.А. 206  
Рользинг М.О. 78  
Романов Г.А. 72, 115, 131, 187  
Романова А.В. 131  
Романюк Д.А. 85, 277, 358  
Румянцева Н.И. 112, 145, 196, 209, 216, 219, 220  
Рупасова Ж.А. 174  
Рымарь В.П. 335  
Рязанский С.С. 125  
Савченко Г.Е. 143  
Сазанова К.А. 282  
Сазонова Т.А. . 324  
Салина Е.А. 51  
Салмин С.А. 86  
Салмова М.А. 206  
Сальс Ж. 51  
Саляев Р.К. 150  
Саляхова Г. А. 10, 347  
Сантабарбара С. 20  
Сапоцкий М.В. 131  
Сафронова Н.М. 87  
Светлова Н.Б. 343  
Седов К.А. 215  
Семенов К.Н. 67  
Семенова А.С. 282  
Семенютина В.А. 336  
Сергеева Л.И. 64  
Сердюков Ю.А. 310, 337  
Серенко Е.К. 130  
Сибгатуллин Т.А. 165  
Сибгатуллина Г.В. 145, 216, 220  
Синькевич И.А. 80, 88  
Синюшин А.А. 70  
Ситников М.А. 161  
Скаженник М.А. 46  
Скобелева О.В. 67  
Скрыпник Л.Н. 97, 169  
Смирнова О.Г. 201  
Смирнова Э.А. 54  
Смирнова Ю.В. 293  
Смоликова Г. Н. 21  
Смолов А.П. 153  
Смолькина Ю.В. 197  
Соболькова Г.И. 224  
Соколова Н.А. 284, 311  
Соловченко А.Е. 338  
Соловченко О.В. 338  
Соловьева А.И. 189, 215  
Соловьева Е.В. 50

Сорокина Г. И. 89  
Софронова В. Е. 339  
Сошинкова Т.Н. 340  
Спиридович Е.В. 218  
Стародубцева А.А. 303, 341  
Стеклов М.Ю. 72, 131, 145  
Степанов А.В. 146  
Стеценко Л.А. 341  
Столбикова А.В. 311  
Стороженко В.А. 343  
Стриж И.Г. 90, 368  
Стробыкина А.С. . 307  
Сугимото А. 322  
Сулейманова А.Д. 212  
Сурова Л. М. 22, 24  
Сухов В. С. 22, 23, 24  
Сысоева М.И. 103, 205, 352  
Табаленкова Г. Н. 16, 259, 287, 304  
Таланова В.В. 139, 333  
Тараканов И.Г. 342, 369  
Таран Н.Ю. 343, 370  
Тараховская Е. Р. 91  
Татарина Т.Д. 344  
Терек О.И. 251  
Теренина М. Б. 17  
Терешонок Д.В. 215  
Терлецкая Н.В. 92  
Техриб М.В. 116  
Тимергалин М.Д. 44  
Тимофеева О.А. 307, 371  
Тинчжо Ч. 127  
Титов А.Ф. . 139, 241, 278, 333  
Титова Н.В. 92  
Тихобаева В.Е. 94, 301  
Тихонович И.А. 68  
Ткачёва А.Р. 93  
Ткаченко О.В. 198  
Тодерич К.Н. 332  
Токаренко М.Р. 94  
Тома З.Г. 221  
Тома С.И. 166  
Топчиева Л.В. 278  
Трифорова Е.А. 131  
Трофимова М.С. 148  
Трухан И.С. 150  
Тугарова А.В. 170  
Туркин Н.И. 171  
Турская А.Л. 270  
Тырнов В.С. 197  
Тюрин А.А. 124  
Тютерева Е.В. 345  
Улинец В.З. 286  
Ульяновская Е.В. 308  
Умаров И.А. 275  
Умралина А.Р. 204  
Усатенко Т.В. 301  
Усатов А.В. 94, 234  
Фадина О.А. 95  
Фатеева Е.В. 187  
Фатуллаева А.С. 267  
Федак В.В. . 96  
Феденко В.С. 351  
Федоренко А.М. 94  
Федорова М.А. 234  
Федураев П.В. 97, 169  
Федяев В.В. 244  
Филипенко Е.А. 131  
Филипеня В.Л. 218, 222  
Фитискина Н.В. 281  
Флорез-Сараса И. 8  
Фоменко Т.И. 217, 218  
Фоменков А.А. 147, 154  
Фомина Ю.Ю. 353  
Французова В.П. 346  
Хавкин Э.Е. 95  
Хаертдинова Г.В. 216  
Хаертдинова Л.Р. 145, 209, 219, 220  
Хайруллин Р.М. 293  
Халатян О.В. 335  
Халилова Л.А. 357  
Халилова Л.Ф. 137  
Халилуев М.Р. 133, 245  
Хамидуллина Л. А. 10, 347  
Харатян Н.Г. 134  
Харченко П.Н. 133  
Харчук О.А. 48, 172, 173, 348  
Хасан Ж. 268  
Хлесткина Е.К. 355  
Ходарева Е.С. 262  
Холмогоров С.В. 300  
Холодова В.П. 258, 268, 274  
Холопцева Е.С. 98



- Хоркавцив Я.Д. 98  
Хохлов Н.Ф. 342  
Хохлова Л.П. 371  
Хрипач В.А. 268  
Христин М.С. 264  
Христовая Т.Е. 349  
Хрянин В. Н. 371  
Цвильнюк О.Н. 250  
Чабан И.А. 133  
Чанчикова А.Г. 277  
Чарыков Н.А. 67  
Чебан А.Н. 221  
Чеботарева И.Б. 130  
Чепалов В.А. 311, 317  
Чернышева Т.П. 204  
Чесноков Ю.В. 161  
Чижик О.В. 222  
Чижова М.В. 342  
Чижова С.И. 115  
Чиков В.И. 10, 100, 240, 347  
Чиркова Т.В. 265  
Чичкова Н.В. 76, 186  
Чмелева С.И. 101  
Чу В.В. 70  
Чуб В.В. 372  
Чукина Н.В. 299  
Чупахина Г.Н. 97, 169  
Шаварда А.Л. 151  
Шавнин С.А. 358  
Шакиров Е.В. 212  
Шакирова Ф.М. 242  
Шанбанович Г.Н. 83  
Шапошников А.И. 68  
Шарипова Г.В. 44, 102, 159  
Шарипова М.Р. 212  
Шаркаева Э.Ш. 288  
Шевырева Т.А. 148, 154  
Шевякова Н.И. 341  
Шелухин П.Г. 224  
Шелякин М.А. 350  
Шемет С.А. 351  
Шерстнева О. Н. 22, 24  
Шерудило Е.Г. 205, 352, 353  
Шестибратов К.А. 206  
Шибаета Т.Г. 103  
Шимшилашвили Х.Р. 124, 224  
Шишова М.Ф. 85, 127, 151  
Школина М.М. 78  
Шмаков Е. 326  
Шмакова Н.Ю. 354  
Шоева О.Ю. 355  
Шпирная И.А. 275  
Штефырцэ А. 104, 173, 356  
Шувалов А.В. 137, 357  
Шугаев А. Г. 8, 14, 17  
Шуйская Е.В. 255, 332  
Шуканов В.П. 83  
Шуляковская Т.А. 105  
Шумкова Г.А. 129  
Шутова А.Г. 223  
Щеголев С.Ю. 170, 198  
Щедрина З.А. 161  
Щербиков Р.А. 233  
Юдина П.К. 358  
Юркова И.Н. 213  
Юрьева Н.О. 128, 224  
Юсуфов А.Г. 106  
Яблонская Е.К. 107  
Ягдарова О.А. 158  
Яковлев А.П. 174  
Яковлева О.С. 369  
Ямбуренко М.В. 126  
Яронская Е.Б. 233  
Яруллина Л.Г. 359  
Яруллина Л.М. 275  
Ястреб Т.О. 289

## СОДЕРЖАНИЕ

Участникам конференции .....	3
Программный комитет .....	5
Организационный комитет: .....	6
Секция 1	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТАБОЛИЗМ РАСТЕНИЯ И СПОСОБЫ ЕГО ОПТИМИЗАЦИИ	
Оценка распределения потоков электронов между терминальными путями электрон-транспортной цепи дыхания проростков озимой пшеницы по дискриминации изотопов кислорода <i>Абдрахимова Й. Р., Флорез-Сараса И., Шугаев А. Г., Рибас-Карбо М.</i> .....	8
Особенности энергопреобразующих процессов в хлоропластах проростков ячменя, выращенных при освещении узкополосным светом разной длины волны. <i>Аверчева О. В., Бассарская Е. М., Птушенко В. В., Жигалова Т. В.</i> .....	9
Участие апопластной инвертазы в регуляции фотосинтеза и транспорта ассимилятов. <i>Баташева С. Н., Бакирова Г. Г., Хамидуллина Л. А., Саляхова Г. А., Чиков В. И.</i> .....	10
Влияние салициловой кислоты на генерацию мембранного потенциала митохондрий растений. <i>Буцанец П. А.</i> .....	11
Показатели энергетического обмена <i>Solanum tuberosum</i> в условиях деструкции микротрубочек. <i>Власова Н. С.</i> .....	12
Послесветовая ассимиляция углерода листьями $C_3$ и $C_4$ -растений. <i>Воронцов В. А., Балаур Н. С.</i> .....	12
Активность, экспрессия генов и содержание белка альтернативной оксидазы при деэтиляции листа пшеницы. <i>Гармаш Е. В., Грабельных О. И., Вележжанинов И. О., Боровик О. А., Войников В. К., Головки Т. К.</i> .....	13
Соотношение скоростей окисления дыхательных субстратов в митохондриях как показатель устойчивости к неблагоприятным воздействиям. <i>Генерозова И. П., Буцанец П. А., Шугаев А. Г.</i> .....	14
Фосфорное питание, фотосинтез и продуктивность сахарной свеклы и озимой пшеницы при действии биологически активных веществ. <i>Гуляева А. Б., д.б.н., проф. Курьята В. Г., Богдан М. М.</i> .....	15
Регуляция фотосинтеза и продуктивность светокультуры огурца в условиях тепличного хозяйства. <i>Далькэ И. В., Григорай Е. Е., Табаленкова Г. Н., Головки Т. К.</i> .....	16
Активность I комплекса дыхательной цепи и жирнокислотный состав липидной фракции мембран митохондрий проростков гороха в условиях недостаточного увлажнения. <i>Жигачева И. В., Мишарина Т. А., Теренина М. Б., Крикунова Н. И., Генерозова И. П., Шугаев А. Г.</i> .....	17
Энергетический метаболизм растения: пути оптимизации. <i>Комиссаров Г. Г.</i> .....	18
Хлорофилл: строение, состояние и функция в фотосинтетическом аппарате. Основные вехи истории отечественных исследований. <i>А.А. Красновский мл.</i> .....	19
Поступление кадмия в хлоропласты и его влияние на отдельные параметры фотосинтеза и рост проростков. <i>Лысенко Е. А., Клаус А. А., Пишибытко Н. Л.</i> .....	
Сравнительный анализ параметров триплетного состояния хлорофилла <i>a</i> и хлорофилла <i>d</i> из цианобактерии <i>Acariochloris marina</i> . <i>Неверов К. В., Сантабарбара С., Красновский А.А.</i> .....	20
Фотосинтетические процессы в семенах растений. <i>Смоликова Г. Н.</i> .....	21
Роль электрических сигналов в изменении устойчивости к прогреву у гороха посевного ( <i>Pisum sativum L.</i> ). <i>Сурова Л. М., Шерстнева О. Н., Мысягин С. А., Сухов В. С.</i> .....	22
Вызванные электрическими сигналами ответы фотосинтеза у высших растений. <i>Сухов В. С.</i> .....	23

Анализ участия протонов в преобразовании электрического сигнала в фотосинтетический ответ у высших растений. <i>Шерстнева О.Н., Сурова Л.М., Орлова О.В., Сухов В.С.</i> .....	24
--	----

Секция 2

РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ И ИХ РЕГУЛЯЦИЯ

Physiology of formation of a crop of tubers of an early potato. <i>Andrianov A.D., Andrianov D.A.</i> .....	26
Prolonged effect of salicylic acid increases tolerance of the photosynthetic apparatus of wheat and maize plants to cadmium stress. <i>Boiko I.V., Kobyletska M.S., Terek O.I.</i> .....	27
Seasonal dynamic of phytohormones content in Black Sea alga <i>Cystoseira barbata</i> . (Good et Wood). <i>Musatenko L.I., Voytenko L.V.</i> .....	28
Effect of the root nutrition conditions over the aboveground biomass growth of <i>Agastache foeniculum</i> Pursh. <i>Paly I.N.</i> .....	29
Regulation of phenolics production in buckwheat plants grown under different stress conditions. <i>Sytar O., Kosyan A., Brestic M., Taran N.</i> .....	30
Changes in cytokinines content in <i>Equisetum arvense</i> L. organs during their growth. <i>Vedenicheva N.P., Musatenko L.I.</i> .....	30
Role of Phytohormones in Growth and Development of Vascular Cryptogams. <i>Voytenko L.V., Musatenko L.I.</i> .....	31
Глубокий покой и прорастание рекальцитрантных семян: роль АБК. <i>Азаркович М.И., Гумилевская Н.А.</i> .....	32
Биомасса — показатель устойчивости сортов винограда к стрессам. <i>Алиева Земфира М.</i> .....	33
Микроэлементы и развитие раннего картофеля. <i>Андрианов А.Д., Андрианов Д.А.</i> .....	34
Физиологические основы продукционного процесса раннего картофеля. <i>Андрианов Д.А., Андрианов А.Д.</i> .....	35
Динамика и локализация ИУК и АБК и формирование боковых корней у растений пшеницы при локальном снижении водного потенциала питательного раствора. <i>Ахиярова Г.Р., Кудоярова Г.Р., Иванов И.И.</i> .....	36
Ортодоксальные и рекальцитрантные семена: сравнение клеточной структуры. <i>Болякина Ю.П., Азаркович М.И.</i> .....	37
Ультраструктурная организация зрелых семян подсолнечника. <i>Болякина Ю.П.</i> .....	38
Поиск молекулярных маркеров для предпосевной обработки (праймирования) семян сахарной свеклы. <i>Бубряк О.А., Акимкина Т.В., Дмитриев А.П., Бубряк И.И.</i> .....	39
Разработка тест-системы для оптимизации праймирования семян. <i>Бубряк О.А., Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М., Бубряк И.И.</i> .....	40
Влияние активных веществ борщевика Сосновского ( <i>Heracleum sosnowskyi Manden</i> ) на рост и развитие проростков культурных растений. <i>Бударин С.Н.</i> .....	41
Деления растягивающихся клеток в корнях ряда растений. <i>Быстрова Е.И., Есков А.К., Жуковская Н.А., Иванов В.Б.</i> .....	43
Гормональная регуляция устьичной и гидравлической проводимости растений ячменя при повышении температуры. <i>Веселов Д.С., Шарипова Г.В., Тимергалин М.Д., Кудоярова Г.Р.</i> .....	44
Неферментативный гидролиз углеводов как причина снижения качества воздушно-сухих семян при старении и действии внешних факторов. <i>Веселова Т.В., Веселовский В.А.</i> .....	45
Влияние кушения риса на рост, развитие и формирование его урожая. <i>Воробьев Н.В., Скаженник М.А., Пшеницына Т.С., Брагина О.А.</i> .....	46
Метаболические причины формирования узорчатой древесины карельской березы. <i>Галибина Н.А., Новицкая Л.Л.</i> .....	47

Макрокинетическая модель роста, учитывающая лимитирующий компонент субстрата. Глазунов Г.П., Гендугов В.М., Харчук О.А. ....	48
Поглощение воды семенами горчицы белой ( <i>Brassica alba</i> ) из настоев бархатцев отклоненных ( <i>Tagetes patula</i> L.). Глубишева Т.Н., Белавцева С.В., Григорович С.В. ....	49
Участие мелатонина в передаче фотопериодического сигнала на селективном свете. Головацкая И.Ф., Комарова У.А., Соловьева Е.В. ....	50
Изучение генетической регуляции развития соцветия мягкой пшеницы ( <i>T. aestivum</i> L.) на примере гомеологичных генов <i>WFZP</i> . Добровольская О.Б., Сальс Ж., Попова О.М., Орлов Ю.Л., Мартинек П., Лайкова Л.И., Салина Е.А. ....	51
Системность фотопериодического и яровизационного контроля развития растений. Жмурко В.В., Авксентьева О.А. ....	52
Влияние ускоренного старения на активность нуклеаз в семенах ячменя и капусты. Задворнова Ю.В. ....	53
Сравнительное изучение кремнийорганических регуляторов роста в связи с видо- и сортоспецифичностью. Зейслер Н.А., Смирнова Э.А., Мудрова Е.В., Бахтенко Е.Ю. ....	54
Оценка воспроизводимости ростстимулирующего и защитного действия препаратов в растениеводстве. Злотников А.К. ....	55
Структурно-функциональные изменения фотосинтетического аппарата экотипов высотного профиля кедра сибирского в процессе роста. Зуева Т.И. ....	56
Продолжительность митотических циклов в растениях. Иванов В.Б. ....	57
Наступление и продолжительность микрофенологических фаз у семян ярового ячменя, отличающихся по скорости прорастания. А.С.Казакова ....	58
Особенности роста растений томатов на субстратах, инокулированных бактериями-антагонистами рода <i>Bacillus</i> . Калацкая Ж.Н., Ламан Н.А., Молчан О.В. ....	59
Совместное действие регулятора роста мелафена и фитогормонов на компоненты антиоксидантной системы растения картофеля. Кириллова И.Г. ....	60
Влияние гаптена на регуляторную функцию агглютиниана зародышей пшеницы при экзогенном действии на семена. Кириченко Е.В. ....	61
Количественная характеристика пластид в онтогенезе мезофильной клетки в первом листе ячменя. Киселева И.С. ....	62
Участие ауксина в поляризации ионного транспорта и актинового цитоскелета мужского гаметофита петунии. Ковалева Л.В., Захарова Е.В., Воронков А.С., Минкина Ю.В., Андреев И.М. ....	63
Изучение гормональной регуляции клубнеобразования картофеля ( <i>Solanum tuberosum</i> L.). Колачевская О.О., Сергеева Л.И., Алексеева В.В., Ломин С.Н., Бурьянов Я.И. ....	64
Влияние карбонил-цианид- <i>m</i> -хлор-фенилгидразона (КЦХФ) на уровень цитокининов в ксилемном соке и их накопление в побегах и корнях растений пшеницы. Коробова А.В., Ахиярова Г.Р., Медведев С.С., Веселов С.Ю. ....	65
Влияние синтетического стриголактона GR24 на рост пазушных почек и экспорт ИУК у проростков гороха. Котова Л.М., Котов А.А. ....	66
Действие фуллеренола d на рост и биофизические параметры проростков ячменя в благоприятных и стрессовых условиях. Ктиторова И.Н., Скобелева О.В., Панова Г.Г., Семенов К.Н., Чарыков Н.А. ....	67
Взаимосвязь симбиотического потенциала гороха с составом корневых экзометаболитов. Кузмичева Ю.В., Шапошников А.И., Азарова Т.С., Петрова С.Н., Наумкина Т.С., Борисов А.Ю., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Парахин Н.В., Тихонович И.А. ....	68
Регуляция селенозависимого роста и развития <i>Arabidopsis thaliana</i> brassиностероидами и селективным светом. Кулагина Ю.М., Крахалева А.В., Головацкая И.Ф. ....	69

Подходы к моделированию самоорганизации потоков ауксина в растущем клеточном поле. <i>Кулыгин А.К., Быкова Е.А., Лабунская Е.А., Косенко Я.В., Синюшин А.А., Чу В.В.</i> .....	70
Особенности клеточного наследования способности к апогамии у <i>мха Tortula modica R.H.Zander</i> . <i>Лобачевская О.В.</i> .....	71
Исследование начальных этапов трансдукции сигнала цитокинина. <i>Ломин С.Н., Архипов Д.М., Стеклов М.Ю., Леонова О.Г., Романов Г.А.</i> .....	72
Регуляция роста и развития растений стероидными гликозидами. <i>Максимовских С.Ю., Голощапов А.П., Кинтя П.К.</i> .....	73
Влияние 24-эпибрассинолида на гормональный обмен растений ячменя в патогенезе сетчатой пятнистостью. <i>Н.Е. Манжеслова</i> .....	74
Гравитропическая реакция высших растений. <i>С.С. Медведев</i> .....	75
Рост, развитие и устойчивость к гипоксии трансгенных по гену фитаспазы растений <i>Nicotiana tabacum</i> . <i>Миляева Э.Л., Полякова Л.И., Варпанетян А.Б., Чичкова Н.В., Варпанетян Б.Б.</i> .....	76
К вопросу о гормональной регуляции перехода к цветению растений <i>Arabidopsis thaliana</i> с инсерцией в гене <i>CONSTANS</i> . <i>Миляева Э.Л., Ложникова В.Н.</i> .....	77
Регуляция роста и развития рассады белокочанной капусты в защищенном грунте использованием пленок различных фотофизических свойств. <i>Минич А.С., Минич И.Б., Пермякова Н.С., Иваницкий А.Е., Школина М.М., Рользинг М.О.</i> .....	78
Флавонолы в програмной фазе оплодотворения у петунии. <i>Минкина Ю.В.</i> .....	79
Прорастание семян: транспорт воды и биогенез вакуолей. <i>Обручева Н.В., Новикова Г.В., Синькевич И.А., Литягина С.В.</i> .....	80
Рост и показатели анаболизма растений кукурузы на ранних этапах развития в условиях засоления. <i>Омельченко А.В., Кабузенко С.Н.</i> .....	81
Влияние гиббереллиновой кислоты на прорастание желудей и рост сеянцев дуба зубчатого ( <i>Quercus dentata Tunb.</i> ). <i>Орехова Т.П.</i> .....	82
Стрессоустойчивость, рост и развитие льна-долгунца под воздействием регулятора роста терпал. <i>Полякова Н.В., Шуканов В.П., Манжеслова Н.Е., Корытько Л.А., Шанбанович Г.Н.</i> .....	83
Применения молочнокислых бактерий для стимуляции прорастания семян огурца. <i>Ржевская В.С.</i> .....	84
Значение мутаций <i>aux1-7</i> , <i>aux1-3</i> и <i>aux4-2</i> в регуляции содержания фитогормона ауксина у проростков <i>Arabidopsis thaliana</i> . <i>Романюк Д.А., Михайлова Ю.М., Емельянов В.В., Шишова М.Ф.</i> .....	85
Регуляция морфогенеза боковых корней <i>Zea mays L.</i> <i>Салмин С.А.</i> .....	86
Активность нитратредуктазы проростков пшеницы, выращенных на воде, обработанной красным светом, озоном и ультрафиолетом. <i>Сафронова Н.М.</i> .....	87
«Кислый» рост как пусковой процесс прорастания семян. <i>Синькевич И.А., Литягина С.В., Обручева Н.В.</i> .....	88
Сравнительное действие целых и дробных доз минеральных удобрений на физиологические процессы и продуктивность картофеля. <i>Сорокина Г. И.</i> .....	89
Важен ли свет для роста и развития корня? <i>Стриж И.Г.</i> .....	90
Галопероксидазная активность в тканях литоральных и сублиторальных фукусовых водорослей. <i>Тараховская Е. Р., Маслов Ю. И.</i> .....	91
Ростовые реакции зерновых злаков на осмотический и солевой стрессы <i>in vivo</i> и <i>in vitro</i> . <i>Терлецкая Н.В.</i> .....	92
Характеристика ростовых процессов растений абрикоса, обработанных линаризидом. <i>Титова Н.В.</i> .....	92

Эффективность предпосевной обработки семян биопрепаратами для регулирования процессов роста и развития зерновой культуры . <i>А. Р. Ткачёва</i> .....	93
Сравнительный анализ структуры и ультраструктуры клеток листьев у проростков родительских линий и гибридов подсолнечника. <i>Усатов А.В., Федоренко А.М., Тихобаева В.Е., Токаренко М.Р.</i> .....	94
Сравнительная характеристика локусов FRIGIDA в геномах <i>Brassica A, B и C</i> . <i>Фадина О.А., Хавкин Э.Е.</i> .....	95
Влияние регулятора роста растений Зеастимулин на содержание жирных кислот в растениях кукурузы. <i>Федак В.В., Мамчур О.В., Ривис И.Ф.</i> .....	96
Влияние экзогенных синтетических антиоксидантов фенольной природы на ростовые процессы ржи посевной ( <i>Secale cereal L.</i> ). <i>Федураев П.В., Чупахина Г.Н., Скрыпник Л.Н., Моль К.Э., Козоткова К.А.</i> .....	97
Возрастная специфика газообмена листьев березы повислой и березы карельской. <i>Холопцева Е.С., Болондинский В.К.</i> .....	98
Гравизависимая поляризация спор мха <i>Ceratodon purpureus</i> Brid. <i>Хоркавцев Я.Д., Кит Н.А.</i> .....	99
Некоторые возможности управления продукционным процессом растений с помощью комплексных соединений аммиакаатов. <i>Чиков В.И.</i> .....	100
Влияние циркона на рост и развитие томатов сорта «Бычье сердце» на ранних этапах онтогенеза . <i>Чмелева С.И., Меметов Ш.С.</i> .....	101
Влияние дефицита воды на продукцию этилена и устьичную проводимость в зависимости от обработки растений пшеницы ингибитором рецепции этилена 1-МЦП. <i>Шарипова Г.В., Веселов Д.С., Кудоярова Г.Р.</i> .....	102
ДРОП-обработка рассады томатов в условиях круглосуточного освещения — эффективный способ повышения продуктивности. <i>Шибалева Т.Г., Сысоева М.И.</i> .....	103
Морфогенетические предпосылки адаптации и устойчивости к засухе некоторых представителей рода <i>Phaseolus</i> . <i>Штефьрцэ А., Брынзэ Л., Меленчук М., Алуки Н., Бучачая С.</i> .....	104
Влияние подкормок на формирование ассимиляционного аппарата листьев березы повислой и карельской березы.. <i>Шуляковская Т.А., Николаева Н.Н., Ильинова М.К., Запелалова Д.А.</i> .....	105
Организация онтогенеза, старение индивидуума и органов растений. <i>Юсуфов А.Г.</i> .....	106
Влияние препаратов фулоран и метионин и их композиции на рост и развитие растений озимой пшеницы. <i>Яблонская Е.К., Киселева Г.К., Котляров В.В.</i> .....	107

### Секция 3

#### РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОМА И ФИЗИОЛОГИЯ ТРАНСГЕННОГО РАСТЕНИЯ.

Genetic engineering of the key metabolic pathways for crop improvement . <i>Kershanskaya O.I.</i> .....	110
Superoxide dismutase activity in transgenic canola. <i>Sakhno L.O., Slyvets M.S.</i> .....	111
Транскрипционная активность гена 1-Цис пероксиредоксина в культуре клеток гречихи татарской. <i>Акулов А.Н., Горшков О.В., Румянцева Н.И.</i> .....	112
Транскрипция пластидных генов организованных в опероны в мутанте ячменя, лишенном РНК-полимеразы бактериального типа. <i>Алейникова А.Ю., Зубо Я.О., Кузнецов В.В.</i> .....	113
Роль супероксида в передаче сигнала ауксина. <i>Вершинкин Д.А.</i> .....	114
Применение биочипов нового поколения для обнаружения ГМО. <i>Вершинкин Д.А., Гетман И.А., Чижова С.И., Грядунов Д.А., Романов Г.А.</i> .....	115

Интерференционная плейотропия <i>cry</i> -генов у Вt-растений. <i>Викторов А.Г.</i> .....	116
Особенности начальных этапов онтогенеза трансгенных растений табака <i>Nicotiana tabacum L.</i> , трансформированных геном интерлейкина-18 человека. <i>Гвоздева Е.С., Техриб М.В.</i> .....	116
Участие мембранных рецепторов цитокинина в регуляции экспрессии хлоропластных генов при старении листьев <i>A. thaliana</i> . <i>Данилова М.Н.,</i> <i>Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В., Кулаева О.Н.</i> .....	117
Физиолого-биохимические особенности сахарной свеклы, экспрессирующей чужеродные гены-индукторы устойчивости к фитопатогенам. <i>Землянухина О.А., Жужжалова Т.П., Васильченко Е.Н.</i> .....	118
Изменение физиологических параметров у трансгенных растений эндивия с геном интерферона человека. <i>Кваско Е. Ю., Матвеева Н. А.</i> .....	119
Введение гена <i>РНУВ</i> арабидопсиса повышает устойчивость фотосинтетического аппарата трансгенных растений <i>Solanum tuberosum</i> к УФ-Б облучению. <i>Креславский В.Д., Кособрюхов А.А., Константинова Т.Н.,</i> <i>Голяновская С.А., Аксенова Н.П.</i> .....	120
Сравнительный анализ солеустойчивости трансгенных линий арабидопсиса, экспрессирующих вакуолярный антипортер ячменя <i>HvNHX2</i> . <i>Кривошеева А.Б., Беляев Д.В.</i> .....	121
Гены рецепторов цитокинина и их роль в регуляции ответа <i>Arabidopsis thaliana</i> на световой стресс. <i>Кудрякова Н.В., Данилова М.Н., Кузнецов В.В., Кулаева О.Н.</i> .....	122
Динамика накопления низко- и высокомолекулярных фракций фруктанов корнями трансгенного цикория. <i>Мазник К.С., Матвеева Н.А.</i> .....	123
Анализ закономерностей структурных и функциональных характеристик генов растений. <i>Мустафаев О., Тюрин А.А., Бердицеев И.Н., Шимшилашвили Х.Р.,</i> <i>Вячеславова А.О., Голденкова-Павлова И.В.</i> .....	124
Изучение разнообразия микроРНК методом высокопроизводительного секвенирования в растениях <i>Thellungiella salsuginea</i> в нормальных условиях и при стрессе. <i>Пашковский П.П., Рязанский С.С., Кузнецов Вл.В.</i> .....	125
Влияние редокс-состояния дыхательной цепи митохондрий <i>Arabidopsis thaliana</i> на транскрипцию митохондриальных генов. <i>Потапова Т.В., Зубо Я.О.,</i> <i>Ямбуренко М.В., Константинов Ю.М., Бернер Т.</i> .....	126
Изменение экспрессии генов, кодирующих протонные помпы плазмалеммы и тонопласта, в ходе роста растяжением. <i>Прокопьева Ю.П., Тинчжо Ч.,</i> <i>Кирпичникова А.А., Шишова М.Ф.</i> .....	127
Изменения в содержании и составе фенольных соединений при трансформации <i>in vitro</i> культивируемых растений картофеля генами различных десатураз. <i>Прядехина Е.В., Николаева Т.Н., Лапшин П.В., Гончарук Е.А.,</i> <i>Юрьева Н.О., Загоскина Н.В.</i> .....	128
Накопление органических соединений с антиоксидантными свойствами в трансгенных растениях рапса ( <i>Brassica napus L.</i> ) со встроенным геном <i>Osmyb4</i> при действии различных стрессовых факторов. <i>Ралдугина Г.Н., Мареай М.М.,</i> <i>Гомаа А.М., Букарев Р.В., Шумкова Г.А.</i> .....	129
Показателей темного дыхания трансгенных растений томата, экспрессирующих Fe- зависимую супероксиддисмутазу. <i>Серенко Е.К., Аканов Э.Н., Чеботарева И.Б.,</i> <i>Куренина Л.В., Гулевич А.А., Баранова Е.Н.</i> .....	130
Новые структурные мотивы лиганд-связывающего модуля рецепторов цитокининов. <i>Стеклов М.Ю., Ломин С.Н., Романов Г.А.</i> .....	131



Эндонуклеазы растений—новый класс белков, связанных с патогенезом. <i>Трифорова Е.А., Романова А.В., Филипенко Е.А., Сапоцкий М.В., Малиновский В.И., Кочетов А.В.</i> .....	131
Цитоэмбриологическая характеристика трансгенных растений томата, экспрессирующих гены PR-4 семейства защитных белков и гевиноподобных антимикробных пептидов, с нарушением идентичности флоральной меристемы. <i>Халилуев М.Р., Чабан И.А., Кононенко Н.В., Баранова Е.Н., Долгов С.В., Харченко П.Н., Поляков В.Ю.</i> .....	133
Роль сигнальных белков РП в контроле метаболизма одноклеточных зеленых водорослей. <i>Харатьян Н.Г., Залуцкая Ж.М., Лапина Т.В., Минаева Е.С., Ермилова Е.В.</i> .....	134
Секция 4	
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ	
Изучение механизма распространения переменного потенциала у проростков пшеницы. <i>Акинчиц Е.К., Катичева Л.А., Курина Л.Е., Воденев В.А.</i> .....	136
Возможная роль аппарата Гольджи во внутриклеточном транспорте Cl <sup>-</sup> у галофита <i>Suaeda altissima</i> (L.) Pall. <i>Балнокин Ю.В., Орлова Ю.В., Шувалов А.В., Халилова Л.Ф., Куркова Е.Б., Мясоедов Н.А., Беляев Д.В., Андреев И.М.</i> .....	137
Влияние дефицита азота на ультраструктуру микроводорослей, выделенных из ассоциаций с беспозвоночными животными Белого моря. <i>Баулина О.И., Горелова О.А., Лобакова Е.С.</i> .....	138
Роль протонных токов в рецепции механической стимуляции у харовых водорослей. <i>Булычев А.А., Алова А.В., Бибилова Т.Б.</i> .....	139
Особенности структурно-функциональной реорганизации фотосинтетического аппарата пшеницы при охлаждении корней. <i>Венжик Ю.В., Таланова В.В., Титов А.Ф.</i> .....	139
Динамика пероксисомного пула в клетках растений. <i>Войцеховская О.В., Reumann S.</i> .....	140
Динамика морфометрических и физиолого-биохимических показателей <i>Plantago media</i> . <i>Гребенкина Т.М., Розенцвет О.А., Нестеров В.Н., Богданова Е.С.</i> .....	141
Ca <sup>2+</sup> -проницаемые катионные каналы плазматических мембран клеток высших растений. <i>Демидчик В.В.</i> .....	142
Влияние ингибиторов дыхания на ранние этапы биосинтеза хлорофилла. <i>Евдокимова О.В., Савченко Г.Е., Недедь Е.Л., Кабашикова Л.Ф.</i> .....	143
Ионная природа переменного потенциала у высших растений. <i>Катичева Л.А., Акинчиц Е.К., Грибков А.Л., Воденев В.А.</i> .....	144
Изучение ультраструктурных и биохимических особенностей клеток неморфогенного каллуса гречихи татарской <i>F. tataricum</i> , культивируемых на среде с 3-амино-1,2,4— триазолом. <i>Костюкова Ю.А., Румянцева Н.И., Хаертдинова Л.Р., Сибгатуллина Г.В.</i> .....	145
Применение гомологичной системы на основе мембран трансгенных растений табака для изучения лиганд-связывающих свойств индивидуальных рецепторов цитокининов. <i>Кривошеев Д.М., Стеклов М.Ю., Ломин С.Н.</i> .....	145
Влияние низких положительных температур на изменение жирнокислотного состава клеток суспензионной культуры озимой пшеницы. <i>Любушкина И.В., Кириченко К.А., Грабельных О.И., Побежимова Т.П., Степанов А.В., Войников В.В.</i> .....	146
Клеточный цикл—мишень действия NO? <i>Мамаева А.С., Фоменков А.А., Носов А.В., Новикова Г.В.</i> .....	147

Содержание стероидов в мембране как фактор проявления конститутивной активности НАДФН-оксидазы плазмалеммы клеток растений. <i>Пиотровский М.С., Шевырева Т.А., Жесткова И.М., Трофимова М.С.</i> .....	148
Влияние ингибиторов карбоангидразы на функциональный пул мембранносвязанного бикарбоната в тилакоидах шпината. <i>Полищук А.В., Онойко Е.Б., Подорванов В.В., Золотарёва Е.К.</i> .....	149
Детоксикация — одна из основных функций центральной вакуоли клеток растений. <i>Прадедова Е.В., Трухан И.С., Нимаева О.Д., Салеев Р.К.</i> .....	150
Изменение метаболома <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> при различных трофических условиях культивирования. <i>Пузанский Р.К., Шаварда А.Л., Шишова М.Ф.</i> .....	151
Гормональный статус <i>Solanum tuberosum</i> в условиях деструкции тубулинового цитоскелета. <i>Пузина Т.И., Власова Н.С.</i> .....	152
Роль аммония в формировании структур (хлоропласты, митохондрии, рибосомы) растительной клетки. <i>Смолов А.П.</i> .....	153
Влияние фенпропиморфа и филипина на содержание и распределение стероидов в мембранах клеток суспензионной культуры <i>Arabidopsis thaliana</i> . <i>Шевырева Т.А., Пиотровский М.С., Фоменков А.А., Носов А.В.</i> .....	154

## Секция 5

### ВОДНЫЙ СТАТУС И МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Effect of trace elements complex Microcom-V on the productivity and quality of <i>Vitis vinifera</i> L.. <i>Veliksar Sofia, Toma S., Tudorache Gh, Balan Victoria</i> .....	156
Влагообеспеченность растений раннего картофеля. <i>Андреанов А.Д., Андреанов Д.А.</i> .....	157
Особенности накопления цинка декоративными растениями в онтогенезе в условиях городской среды. <i>Воскресенская О.Л., Ягдарова О.А.</i> .....	158
Накопление осмотически активных веществ и поддержание роста растений в норме и при дефиците воды. <i>Высоцкая Л.Б., Веселов Д.С., Шарипова Г.В.</i> .....	159
Метаболические пути воды и локализация ее в разных органах растений в репродуктивный период. <i>Гончарова Э.А.</i> .....	160
Физиолого-генетическая реакция злаковых на условия почвенного питания. <i>Гончарова Э.А., Чесноков Ю.В., Ситников М.А., Щедрина З.А.</i> .....	161
Минеральное питание растений картофеля и нанотехнологии. <i>Егоров Д.Н., Андреанов А.Д., Андреанов Д.А., Н.П. Егоров, Н.В. Кузнецов</i> .....	162
Влияние азотных удобрений на поглощение тяжелых металлов растениями. <i>Загорчевный И.И.</i> .....	163
Динамика содержания общего и апопластного калия, определяемого в листьях растений тритикале ионометрическим методом в зависимости от уровня азотного питания и условий алюминиевой токсичности. <i>Игнатьева С.Л., Пухальская Н.В., Кудрина А.А.</i> .....	164
Ранние эффекты осмотического и гидростатического давления на проницаемость путей межклеточного переноса воды в корнях кукурузы. <i>Ионенко И.Ф., Сибгатуллин Т.А., Анисимов А.В.</i> .....	165
Загрязнение почвы медью, распределение в растения, активность нитратредуктазы в почве, нитратредуктазы и пероксидазы в листьях сахарной свеклы. <i>Лисник С.С., Тома С.И., Корецкая Ю.Л.</i> .....	166
Физико-химические процессы в апопласте и их роль в поглощении воды и ионов корнями растений в нормальных и экстремальных условиях минерального питания. <i>Мейчик Н.Р., Ермаков И.П.</i> .....	167
Влияние режимов фертигации с капельным поливом на минеральное питание растений земляники садовой <i>Fragaria x ananassa</i> Duch. <i>Помякиева Л.В., Коновалов С.Н.</i> .....	168

Влияние дефицита магния на уровень антиоксидантов в листьях земляники садовой. <i>Скрыпник Л.Н., Чупахина Г.Н., Полтавская Р.Л., Федурев П.В.</i> .....	169
Влияние аспаргатов микроэлементов на рост и развитие проростков пшеницы. <i>Тугарова А.В., Евсеева Н.В., Антонюк Л.П., Гуменюк А.П., Щеголев С.Ю.</i> .....	170
Некоторые проблемы выращивания растений без почвы. <i>Туркин Н.И.</i> .....	171
Водный статус и продуктивность растений сои <i>Glycine max</i> L. при недостаточной влагообеспеченности и повышенном содержании бикарбоната в почве . <i>Харчук О.А., Кириллов А.Ф., Козьмик Р.А., Баштова С.И., Кириллова Э.Н., Митина Т.</i> .....	172
Особенности водообмена растений с разными стратегиями его регуляции в условиях засухи. <i>Штефурцэ А., Харчук О., Алуки Н., Меленчук М., Брынзэ Л., Бучачая С.,</i> .....	173
Оптимизация режима минерального питания ягодных растений сем. <i>Ericaceae</i> при возделывании на выработанных участках торфяных месторождений Беларуси. <i>Яковлев А.П., Рупасова Ж.А.</i> .....	174

## Секция б

### БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

<i>In vitro</i> root morphogenesis of <i>Aloe gariensis</i> Pillans. <i>Belokurova V. B.</i> .....	176
The physiological approach to conservation <i>in vitro</i> of rare and disappearing plants in Ukraine flora. <i>Sheyko E.A., Musatenko L.I.</i> .....	177
Оценка интегральной антиоксидантной активности водо- и жирорастворимых компонентов <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. фотохемилюминесцентным методом. <i>Агабалаева Е.Д.</i> .....	178
Толерантные к тяжелым металлам генотипы пшеницы как составляющая экологически чистых технологий. <i>Альбаева Р.А., Кенжебаева С.С., Атабаева С.Д.</i> .....	179
Феномен эмбриоидогении и новый тип вегетативного размножения. Нетрадиционные представления о репродукции. <i>Батыгина Т.Б.</i> .....	180
Влияние возраста и условий культивирования на синтез фенольных соединений каллусными культурами клюквы. <i>Березина Е.В., Носкова Ю.С., Брилкина А.А.</i> .....	183
Регенерация растений в культуре изолированных пыльников гороха <i>Pisum sativum</i> L. <i>Бобков С.В.</i> .....	184
О перспективах использования симбиотических связей растений с микоризообразующими грибами в повышении устойчивости древесных культур. <i>Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Камашева А.А., Двоеглазова А.А.</i> .....	185
Анаэробный стресс растений как новое направление исследований в биотехнологии. <i>Вартапетян Б.Б., Долгих Ю.И., Полякова Л.И., *Чичкова Н.В., Вартапетян А.Б.</i> .....	186
<i>In vitro</i> и <i>in vivo</i> исследование физиологической роли нитрата как защитного фактора при анаэробном стрессе растений. <i>Вартапетян Б.Б., Полякова Л.И., Долгих Ю.И.</i> .....	186
Влияние условий освещения на термодинамические и структурные особенности крахмалов, экстрагированных из микроклубней трансгенного картофеля. <i>Вассерман Л.А., Константинова Т.Н., Голяновская С.А., Плащина И.Г., Аксенова Н.П., Романов Г.А.</i> .....	187
Оптимизация режимов стерилизации некоторых видов луковичных культур <i>in vitro</i> . <i>Вельмьякин И.Н., Фатеева Е.В., Андриюшечкина Г.В.</i> .....	187
Воздействие продолжительности дегидратации апексов на посткриогенное размножение <i>in vitro</i> культуры земляники лесной и её ПЦР анализ. <i>Высоцкая О.Н., Соловьева А.И., Долгих Ю.И.</i> .....	189
Применение биотехнологического метода «микрочлонирувания» для массового размножения декоративных растений.	

Галдина Т.Е., Землянхуина О.А., Карпеченко К.А., Карпеченко И.Ю., Кондратьева А.М., Венринцев В.Н., Карпеченко Н.А. ....	190
Паттерны формирования микроспориальных эмбриоидов в культуре <i>in vitro</i> пыльницов пшеницы: влияние 2,4-Д. Галин И.Р. ....	193
Гормональная регуляция морфогенеза и вторичного метаболизма клеточной культуры <i>Saussurea orgadayi</i> . Головацкая И.Ф., Володина Н.А. ....	194
Изменения в уровне ПОЛ при действии перекиси водорода на каллусную культуру чая. Гончарук Е.А., Клейменова Ю.Е., Нечаева Т.Л., Назаренко Л.В. ....	195
Влияние метилжасмоната на ростовые характеристики и содержание фенольных соединений в суспензионной культуре гречихи татарской <i>F. tataricum</i> (L.) Gaertn.. Гумерова Е.А., Иванова А.С., Румянцева Н.И. ....	196
Модификация партеногенетического и полового путей развития растений. Демихова Д.С., Смолькина Ю.В., Тырнов В.С. ....	197
Растительно-бактериальные ассоциации в культуре <i>in vitro</i> пшеницы и картофеля. Евсеева Н.В., Ткаченко О.В., Матора Л.Ю., Бурьгин Г.Л., Бойкова Н.В., Лобачев Ю.В., Щеголев С.Ю. ....	198
Влияние регуляторов роста на регенерацию трансгенных растений салата <i>Lactuca sativa</i> L. сорта Одесский Кучерявец. Елисеева Ю.В., Матвеева Н.А. ....	199
Влияние нанокompозитов селена на ростовые характеристики и активность пероксидазы картофеля <i>in vitro</i> сорта Луговской. Живетьев М.А., Перфильева А.И., Папкина А.В., Граскова И.А., Боровский Г.Б. ....	200
База данных БВИР — интернет-ресурс для поддержки и планирования экспериментов по трансгенезу растений. Ибрагимова С.М., Смирнова О.Г., Рассказов Д. А., Кочетов А.В. ....	201
Прижизненная кислотность пыльцевых зерен остролодочника башкирского в условиях <i>in vivo</i> и <i>in vitro</i> . Круглова А.Е. ....	202
Развитие зародышей регенерантов пшеницы, полученных в эмбриокультуре <i>in vitro</i> . Круглова Н.Н. ....	203
Культивируемые <i>in vitro</i> корни двух видов шлемников как продуценты физиологически активных флавонов. Кузовкина И.Н., Гусева А.В., Прокофьева М.Ю., Умралина А.Р., Чернышева Т.П. ....	204
Способ микроклеточного размножения растений для получения устойчивых к заражению нематодой и действию низких температур растений картофеля. Лаврова В.В., Сысоева М.И., Матвеева Е.М., Шерудило Е.Г., Котова З.П. ....	205
Рост, морфология и биобезопасность трансгенных древесных лесных пород с цитозольной формой гена GS сосны. Лебедев В.Г., Салмова М.А., Розова Х.А., Ларионова А.А., Шестибратов К.А. ....	206
Микроразмножение редких растений. Магомедашева В.К. ....	207
Морфологические и биохимические различия двух штаммов каллусных культур стебля чайного растения ( <i>Camellia sinensis</i> L.). Нечаева Т.Л., Азаркович М.И., Загоскина Н.В. ....	207
Дифференциальная экспрессия белков в морфогенном и неморфогенном каллусах гречихи татарской. Никонорова Н.А., Хаертдинова Л.Р., Костюкова Ю.А., Ризванов И.Х., Румянцева Н.И. ....	209
Клеточные технологии получения биологически активных веществ растительного происхождения. А.М.Носов. ....	210
Интенсивность фотосинтеза у трансформированных растений табака в условиях избыточного освещения. Нурминская Ю.В., Максимова Л.А., Копытина Т.В., Еникеев А.Г. ....	211

Гетерологичная система экспрессии генов в растениях на основе гена бациллярной фитазы. <i>Нямсурэн Ч., Валеева Л.Р., Ахметова А.И., Сулейманова А.Д., Балабан Н.П., Шакиров Е.В., Шарипова М.Р.</i> .....	212
Влияние наноразмерного и ионного селена на ростовые процессы пшеницы. <i>Омельченко А.В., Юркова И.Н., Бугара И.А.</i> .....	213
Фотосинтез и продуктивность растений картофеля при различном спектральном облучении. <i>Полякова М.Н., Мартиросян Ю.Ц., Диловарова Т.А., Кособрюхов А.А.</i> .....	214
Уровень генетического полиморфизма в культурах тканей <i>Arabidopsis thaliana</i> разного возраста. <i>Седов К.А., Соловьева А.И., Терешонок Д.В., Долгих Ю.И.</i> .....	215
АФК и быстрый рост неморфогенных каллусов: есть ли связь? <i>Сибгатуллина Г.В., Хаертдинова Г.В., Румянцева Н.И.</i> .....	216
Регенерация люпина узколистного ( <i>Lupinus angustifolius L.</i> ) в культуре ткани <i>in vitro</i> . <i>Фоменко Т.И., Малюш М.К.</i> .....	217
Сохранение биоразнообразия растений в коллекциях <i>in vitro</i> Центрального ботанического сада НАН Беларуси. <i>Фоменко Т.И., Спиридович Е.В., Козлова О.Н., Филипеня В.Л., Брель Н.Г., Бердичевец Л.Г.</i> .....	218
Динамика содержания глутатиона в культурах гречихи с разной морфогенной активностью. <i>Хаертдинова Л.Р., Румянцева Н.И.</i> .....	219
Изменение локализации активных форм кислорода в течение культурального цикла в морфогенных каллусах гречихи татарской. <i>Хаертдинова Л.Р., Румянцева Н.И., Сибгатуллина Г.В.</i> .....	220
Изменение активности белковых ингибиторов (трипсина, химотрипсина, трипсин подобных протеаз) из патогена <i>Fusarium oxysporum Schlechtend</i> в стареющих семенах нута при длительном хранении в коллекции <i>ex situ</i> в условиях пониженных температур. <i>Чебан А.Н., Тома З.Г., Куришунжи Д.К., Михэилэ В.В.</i> .....	221
Разработка метода агробактериальной трансформации древесно-кустарниковых видов рода <i>Vaccinium</i> . <i>Чижик О.В., Филипеня В.Л., Решетников В.Н.</i> .....	222
Эфирные масла хвойных растений как основа для создания биотехнологических препаратов нового поколения. <i>Шутова А.Г., Гаранович И.М.</i> .....	223
Комплексная устойчивость к холоду и возбудителям альтернариоза и фитофтороза трансгенных растений картофеля, экспрессирующих ген ацил-липидной десатуразы $\Delta 9$ из цианобактерии <i>Synechococcus vulcanus</i> . <i>Юрьева Н.О., Мелешин А.А., Шелухин П.Г., Деревягина М.К., Соболева Г.И., Васильева С.В., Голденкова-Павлова И.В., Шимишлавилли Х.Р.</i> .....	224

## Секция 7

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ

Influence of $KNO_3$ on activity and gene expression of nitrate reductase, content of proline and photosynthetic pigments, photosynthesis and respiration in barley plants under salinity. <i>Beyzaei Z., Sherbakov R.A., Vershilovskaya I.V., Obuchovskaya L.V., Averina N.G.</i> .....	226
Catalase and peroxidase activity of soil and <i>Carex hirta L.</i> plants under crude oil contamination. <i>Karpyn O., Bunyo M., Tsvilynyuk O., Terek O.</i> .....	227
Relationships between the foliar carbon isotope compositions $\delta^{13}C$ of <i>Betula pendula</i> Roth and <i>B. pubescens</i> Ehrh. and the climate of the Urals and West Siberia. <i>Migalina S.V., Ivanova L.A., Ronzhina D.A., Ivanov L.A., Machnev A.K., Rennenberg H.</i> .....	228
Combined effect of water and salt stresses on the structure of mesophyll cells in wheat seedlings. <i>Semenova G.A., Fomina I.R., Ivanov A.A.</i> .....	229
Accumulation of heavy metals and moss <i>Drepanocladus aduncus</i> (Hedw.) Warnst. reactions on their toxic effects. <i>Shcherbachenko O.I.</i> .....	230

Influence of the moss <i>Campylopus introflexus</i> (Hedw.) Brid. on the optimization of mine dumps' technogenic substrates. <i>Sokhan'chak R.R.</i> .....	231
Study of the development and condition of Scots pine exposed to sulphur and heavy metal pollution in the Kostomuksha urban ecosystem, North Russia. <i>Terebova E., Galibina N.</i> .....	232
Роль 5-аминолевулиновой кислоты в формировании устойчивости растений озимого рапса ( <i>Brassica napus</i> ) к гербициду Магнум. <i>Аверина Н.Г., Недведь Е.Л., Щербаков Р.А., Яронская Е.Б.</i> .....	233
Действие экстремальных факторов на селекционные формы подсолнечника. <i>Азарин К.В., Федорова М.А., Усатов А.В., Кулишова Г.А.</i> .....	234
Стресс-индуцируемые белки в рекальцитрантных семенах каштана конского. <i>Азаркович М.И., Гумилевская Н.А.</i> .....	235
Аккумуляция и гипераккумуляция тяжелых металлов дикорастущими видами крестоцветных в связи с проблемой фитоэкстракции. <i>Алексеева-Попова Н.В.</i> .....	236
Влияние эпина и циркона на рост проростков редиса ( <i>Rhaphanus sativus</i> L.) в нефтезагрязненной почве и содержание в них пролина. <i>Алиева Зарина М., Османов Р.М., Джамалова С.Ш.</i> .....	337
Содержание аскорбиновой кислоты в листьях видов рода Асер L. при комплексном загрязнении тяжелыми металлами. <i>Артюшенко Т.А., Гришко В.Н.</i> .....	238
Адаптация мха <i>Bryum caespiticium</i> Hedw. к абиотическим стрессовым факторам. <i>Баик О.Л.</i> .....	239
Развертывание адаптационного процесса в растении при изменении условий для фотосинтеза. <i>Бакирова Г.Г., Чиков В.И.</i> .....	240
Влияние предобработки кадмием на устойчивость ячменя к последующему действию повышенных концентраций металла и его накопление в надземных и подземных органах растений. <i>Батова Ю.В., Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф.</i> .....	241
Роль лектина в формировании индуцированной 24-эпибрассинолидом устойчивости пшеницы к кадмиевому стрессу. <i>Безрукова М.В., Мурзабаев А.Р., Шакирова Ф.М.</i> .....	242
Сезонная динамика газообмена и пигментного фонда прямостоячих и стелющихся видов сосновых. <i>Бендер О.Г., Зотикова А.П.</i> .....	243
Устойчивость ассоциативных ризобияльных симбиотических систем к воздействию тяжелых металлов и перспективы их применения в фиторемедиации. <i>Благова Д.К., Постригань Б.Н., Федяев В.В.</i> .....	244
Сравнительная характеристика генотипов томата ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.), различающихся по степени устойчивости к засолению, в условиях <i>in vitro</i> . <i>Богоутдинова Л.Р., Баранова Г.Б., Баранова Е.Н., Халилуев М.Р., Долгов С.В.</i> .....	245
Изменения в полипептидном составе запасных белков семян клена <i>Acer pseudoplatanus</i> L. в условиях урбоценоза. <i>Богуславская Л.В., Лашко В.В.</i> .....	246
Регуляция CO <sub>2</sub> -газообмена у сосны обыкновенной во время вегетации. <i>Болондинский В.К.</i> .....	247
Повышение устойчивости растений к низкотемпературному стрессу с помощью синтетического регулятора роста эпина экстра. <i>Будыкина Н.П., Алексеева Т.Ф.</i> .....	248
Накопление фенольных соединений в сабельнике болотном ( <i>Comarum palustre</i> L) в связи с адаптацией и темпами роста. <i>Булатова С.В., Бахтенко Е.Ю., Петрова П.И., Загоскина Н.В.</i> .....	249
Распределение цитокининов в корневище растений <i>Carex hirta</i> L., которые росли на нефтезагрязненной почве. <i>Буньо Л.В., Войтенко Л.В., Цвильнюк О.Н.</i> .....	250
Перспективы симбиотической азотфиксации в нефтезагрязненной почве. <i>Величко О.И., Терек О.И.</i> .....	251
Влияние стрессовых условий на ультраструктуру лишайников. <i>Власова Т.А.</i> .....	252



Изучение особенностей механизмов устойчивости кормовых культур к корневой гипоксии. <i>Войцеконская С.А., Астафурова Т.П.</i> .....	253
Сравнительный анализ некоторых физиологических процессов у эфемероидов произрастающих в аридных условиях Калмыкии. <i>Волошина Т.В.</i> .....	254
Стимулирующее фотосинтез у проростков <i>Zea mays</i> L. воздействие кратковременной засухи. <i>Воронин П.Ю., Рахманкулова З.Ф., Маевская С.Н., Николаева М.К., Шуйская Е.В.</i> .....	255
Солеустойчивость проростков при высокотемпературной обработке семян. <i>Гаджиева И.Х.</i> .....	256
О возможной роли эндофитных бактерий в формировании устойчивости сорных растений к гербицидам. <i>Гарипова С.Р.</i> .....	257
Особенности процессов восстановления у растений двух видов <i>Nigella</i> , подвергнутых засолению. <i>Гогуз Д.О., Холодова В.П.</i> .....	258
Механизмы устойчивости фотосинтетического аппарата листоватого лишайника <i>Lobaria pulmonaria</i> . <i>Головки Т.К., Далькэ И.В., Захожий И.Г., Дымова О.В., Малышев Р.В., Коковкина Е.В., Табаленкова Г.Н.</i> .....	259
Особенности транслокации тяжелых металлов в системе «корень-лист» у цветочно-декоративных и древесно-кустарниковых растений. <i>Гришко В.Н.</i> .....	260
Влияние хронического облучения на устойчивость растений к биотическому стрессу в 30-км Зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. <i>Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М., Гуца Н.И., Дяченко А.И.</i> .....	261
Зависимость накопления фенольных соединений в подземных органах кровохлебки лекарственной ( <i>Sanguisorba officinalis</i> L.) от фазы вегетации и эколого-ценотических факторов. <i>Долотова Е.С., Ходарева Е.С., Бахтенко Е.Ю.</i> .....	262
Участие защитных белков в адаптации растений ячменя ( <i>Hordeum vulgare</i> L.) к совместному действию низкой температуры и избыточного увлажнения. <i>Дремук И.А.</i> .....	263
Сезонные изменения пигмент-белковых комплексов фотосистем в листьях зимне-зеленого вида живучки ползучей ( <i>Ajuga reptans</i> L.). <i>Дымова О.В., Христина М.С., Латовски Д., Головки Т.К.</i> .....	264
Значение ди- и полиаминов для устойчивости растений к недостатку кислорода и последующему окислительному стрессу. <i>Емельянов В.В., Ма Г., Ласточкин В.В., Чиркова Т.В.</i> .....	265
Связь между гомезисом и парадоксальными эффектами при действии поллотантов на растения. <i>Ерофеева Е.А.</i> .....	266
Связанные с клеточной стенкой молекулярные формы β-глюкозидазы растений гороха: активность, физико-химические свойства, влияние гипоксического стресса. <i>Ершова А.Н., Фатуллаева А.С.</i> .....	267
Физиологические механизмы защитного действия эпибрасинолида у растений рапса при засолении. <i>Ефимова М.В., Хасан Ж., Хрипач В.А., Холодова В.П., Кузнецов В.В.</i> .....	268
Динамика активности ферментов, витаминов и других биологически активных веществ в листьях манжетки городковатой в течение суток. <i>Живетьев М.А., Граскова И.А., Дударева Л.В., Войников В.К.</i> .....	269
Особенности адаптации травянистых растений Предбайкалья в естественных условиях произрастания. <i>Живетьев М.А., Турская А.Л., Дударева Л.В., Маркова Ю.А., Граскова И.А., Войников В.К.</i> .....	270



Корреляционная зависимость между показателями фотосинтетической активности и биологической продуктивности на фоне засоления и регуляторов роста ивина и 6-БАП. <i>Жижина М.Н., Кабузенко С.Н.</i> .....	271
Экологические аспекты в изучении природных популяций сем. <i>Fabaceae Lindl.</i> Южной Сибири по активности ингибиторов трипсина. <i>Жмудь Е.В., Дорогина О.В.</i> .....	272
Специфика физиологических реакций овса на действие засухи в зависимости от генотипа. <i>Зейслер Н.А., Бахтенко Е.Ю.</i> .....	273
Возможное участие транспортеров ряда семейств в детоксикации избытка ионов меди растениями рапса. <i>Злобин И.Е., Холодова В.П.</i> .....	274
Регуляция активности ингибиторов гидролаз в тканях пшеницы и картофеля при инфицировании грибными патогенами. <i>Ибрагимов Р.И., Шпирная И.А., Яруллина Л.М., Умаров И.А., Новоселова Е.И.</i> .....	275
Совместное действие водного и солевого стрессов на листья пшеницы разного возраста. <i>Иванов А.А.</i> .....	276
Влияние парникового эффекта на фотосинтетический аппарат луговых растений: опыт с использованием камер с открытым верхом. <i>Иванова Л.А., Иванов Л.А., Чанчикова А.Г., Ронжина Д.А.</i> .....	277
Влияние кадмия на экспрессию гена <i>HvSAX2</i> в корнях проростков ячменя. <i>Казнина Н.М., Титов А.Ф., Топчиева Л.В., Батова Ю.В., Лайдинен Г.Ф.</i> .....	278
Взаимодействие сигнальных посредников при индуцировании теплоустойчивости растительных клеток действием жасмоновой кислоты. <i>Карпец Ю.В., Луговая А.А., Колупаев Ю.Е.</i> .....	279
Ионный баланс подорожника большого и подорожника приморского в условиях засоления. <i>Карташов А.В., Паиковский П.П.</i> .....	280
Влияние экотола на физиологическое состояние древесных саженцев различной устойчивости к антропогенным воздействиям в условиях избытка свинца в почве. <i>Карташова Е.Р., Фитискина Н.В.</i> .....	281
Экзогенные регуляторы роста повышают резистентность растений к абиотическим стрессорам посредством изменения про/антиоксидантного состояния. <i>Каитанова Н.Н., Сазанова К.А., Семенова А.С., Лукаткин А. С.</i> .....	282
Идентификация новых солеустойчивых мутантных линий яровой пшеницы. <i>Кенжебаева С.С., Атабаева С.Д., Доктырбай Г., Альбаева Р.А., Нармуратова Ж., Калдыбеккызы Г., Асрандина С.Ш.</i> .....	283
Относительный состав жирных кислот <i>Muriophyllum spicatum</i> и <i>Elodea canadensis</i> из реки Ангара при действии гипертермии и хлорида кадмия. <i>Кириченко К.А., Любушкина И.В., Побежимова Т.П., Соколова Н.А.</i> .....	284
Особенности адаптации мха <i>Bryum argenteum</i> Hedw. к нефтяному загрязнению. <i>Кияк Н.Я.</i> .....	285
Влияние экзогенного пролина на устойчивость проростков пшеницы при действии ионов кадмия. <i>Коваленко М.С., Конотоп Е.А., Улинец В.З., Мелешко А.А., Бацманова Л.М.</i> .....	286
Про/антиоксидантный баланс в листьях двух природных световых фенотипов <i>Plantago media</i> L.. <i>Коковкина Е.В., Табаленкова Г.Н., Головки Т.К.</i> .....	287
Скорость генерации супероксидного анион-радикала в листьях томата при действии пониженных температур и препарата 6-БАП. <i>Колмыкова Т.С., Шаркаева Э.Ш.</i> .....	288
Участие ферментативных систем, формирующих пул пероксида водорода, в развитии индуцированной устойчивости проростков пшеницы к гипертермии и осмотическому шоку. <i>Колупаев Ю.Е., Обозный А.И., Ястреб Т.О.</i> .....	289
Сравнительный анализ активности фотосинтетического аппарата галофитов Белого моря. <i>Кособрюхов А.А., Марковская Е.Ф.</i> .....	290

Аккумуляция углеводов и устойчивость растений. <i>Красавина М.С., Бурмистрова Н.А.</i> .....	290
Особенности углекислотного газообмена флаговых листьев растений пшеницы разных сортов в условиях засухи. <i>Крупа Н.Н.</i> .....	291
Влияние засоления на токсический эффект, вызываемый действием избытка меди на проростки сои. <i>Кузнецова Н.А., Бурмистрова Н.А., Куликова А.Л.</i> .....	292
Влияние бактерий <i>Bacillus subtilis</i> на активность каталазы <i>Sinapis alba</i> при загрязнении почвы ионами никеля. <i>Кураמיшина З.М.,</i> <i>Смирнова Ю.В., Хайруллин Р.М.</i> .....	293
Роль каротиноидов в функционировании фотосистем и стресс-устойчивости растений. <i>Ладыгин В. Г.</i> .....	294
Состояние меристемы и физиолого-биохимические показатели прорастающих семян пшеницы в условиях солевого стресса. <i>Луценко Э.К., Галактионова М.В.</i> .....	295
Две возможные стратегии адаптации растений к поступлению кадмия в побег на примере двух видов злаков. <i>Лысенко Е.А., Клаус А.А., Пишбытко Н.Л.</i> .....	296
Продукционный процесс растений криолитозоны в изменяющемся климате: прошлое, настоящее и будущее. <i>Максимов Т.Х., Максимов А.П., Кононов А.В.</i> .....	297
Влияние возрастающих концентраций мочевины на антиоксидантный статус элодеи. <i>Малева М.Г., Чукина Н.В., Борисова Г.Г.</i> .....	299
Микосимбиотрофия и накопление фенольных соединений в корнях орхидных умеренного климата. <i>Маракаев О.А., Холмогоров С.В.,</i> <i>Богомолв Ю.В., Загоскина Н.В.</i> .....	300
Определение устойчивости линий подсолнечника к ложной мучнистой росе. <i>Маркин Н.В., Тихобаева В.Е., Усатенко Т.В., Воличенко М.И.</i> .....	301
Сортовые особенности <i>Phaseolus vulgaris</i> в формировании продуктивности и симбиотической активности в зависимости от абиотических факторов среды. <i>Маркова О.В., Гарипова С.Р.</i> .....	302
Пигментный аппарат растений приливно-отливной зоны Белого моря по градиенту заливания. <i>Марковская Е.Ф., Кокк А.А., Гаврилова О.Н., Стародубцева А.А.</i> .....	303
Активность ферментов антиоксидантной защиты почвопокровных растений в условиях техногенного загрязнения. <i>Мартынова Н.В., Опанасенко В.Ф.,</i> <i>Лихолат Ю.В.</i> .....	303
Физиологические механизмы регуляции морфогенеза корневищ (на примере тысячелистника обыкновенного). <i>Маслова С. П.,</i> <i>Табаленкова Г. Н. , Мальшев Р. В.</i> .....	304
Использование каллусных культур овощных растений для оценки стрессового влияния тяжелых металлов. <i>Михайлова И.Д., Лукаткин А.С.</i> .....	305
Индукция синтеза ауксина, повышение энергетической эффективности и устойчивости растений путем обработки глицином. <i>Мурашев С.В.</i> .....	306
Влияние стевиозида и тяжелых металлов на физиолого-биохимические параметры и структуру урожая яровой пшеницы. <i>Невмержицкая Ю.Ю.,</i> <i>Михайлов А.Л., Стробыкина А.С., Тимофеева О.А.</i> .....	307
Водный статус сортов яблони различной плоидности при засухе. <i>Ненько Н.И., Киселева Г.К., Караваева А.В., Ульяновская Е.В.</i> .....	308
Влияние засухи на содержание углеводов и пролина у растений пшеницы. <i>Николаева М.К., Маевская С.Н.</i> .....	309
Действие слабого постоянного магнитного поля на состав и содержание липидов в проростках, листьях взрослых растений и семенах редиса. <i>Новицкая Г.В., Молоканов Д.Р., Сердюков Ю.А., Новицкий Ю.И.</i> .....	310

Жиринокислотный состав липидов и питательная ценность зеленого криокорма. <i>Нохсоров В.В., Столбикова А.В., Перк А.А., Соколова Н.А., Чепалов В.А., Дударева Л.В., Петров К.А.</i> .....	311
Роль факторов минерального питания в ответах растений на Zn и Cd воздействие. <i>Осмоловская Н.Г., Кучаева Л.Н., Лю.Жуй, Попова Н.Ф.</i> .....	312
Стрессорный ответ растений табака, трансформированных смысловым геном супероксиддисмутазы, на действие низкой положительной температуры. <i>Павлючкова С.М.</i> .....	314
Особенности строения апопласта в листьях хрустальной травки при дефиците железа и действия NaCl. <i>Парамонова Н.В.</i> .....	315
Об участии пластоглобул хлоропластов в депонировании Fe. <i>Парамонова Н.В.</i> .....	316
Экологическая физиология растений как теоретическая основа формирования зеленого криокорма. <i>Петров К.А., Перк А.А., Чепалов В.А., Иванов Б.И.</i> .....	317
Воздействие промышленного загрязнения на изменение липидных компонентов кутикулы листьев <i>Populus deltoides</i> Marsh. и <i>Tilia cordata</i> Mill.. <i>Писковая О.Н., Гришко В.Н.</i> .....	318
Биоразнообразии насаждений дуба черешчатого по комплексу признаков вторичного обмена. Значение для устойчивости к листогрызущим насекомым. <i>Полякова Л.В., Гамаюнова С.Г., Журова П.Т.</i> .....	319
Сезонная динамика азота в листовеннице Гмелина в центральной Якутии. <i>Попова А.С., Сугимото А., Максимов Т.Х.</i> .....	322
Экспрессия Na <sup>+</sup> -АТФазы морских микроводорослей в клетках высших растений как способ повышения их солеустойчивости. <i>Попова Л.Г., Маталин Д.А., Балнокин Ю.В.</i> .....	323
Показатели CO <sub>2</sub> и H <sub>2</sub> O обмена древесных растений рода <i>Betula</i> таежной зоны Северо-Запада России. <i>Придача В.Б., Сазонова Т.А., Ольчев А.В.</i> .....	324
Гормональная регуляция уровня полиаминов при УФ-В стрессе в растениях <i>Arabidopsis thaliana</i> . <i>Прудникова О.Н., Власов П.В., Карягин В.В., Ракина Т.Я., Ракин В.Ю.</i> .....	325
Влияние алюминиевой токсичности на первичные ростовые процессы сортовой коллекции гречихи. <i>Пухальская Н.В., Большакова Л.С., Шмаков Е., Пороховник Т.Д.</i> .....	326
Физиолого-гистологические адаптационные приспособления растений юга Украины. <i>Пюрко О.Е., Мусяченко Н.Н.</i> .....	327
Влияние дигидрокверцетина на активность пероксидаз и биометрические показатели <i>Glycine max (L) Merrill</i> . <i>Разанцев В.И., Разанцев П.Н., Кузнецова В.А., Лаврентьева С.И., Иваченко Л.Е.</i> .....	331
Исследование адаптационных механизмов различных генотипов ксерогалофита <i>Haloxylon aphyllum</i> к разным условиям водно-солевого обеспечения. <i>Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Тодерич К.Н., Воронин П.Ю.</i> .....	332
Экспрессия гена фитохелатинсинтазы в листьях проростков пшеницы при раздельном и совместном действии кадмия и низкой температуры. <i>Репкина Н.С., Таланова В.В., Тутов А.Ф.</i> .....	333
Физиологические особенности развития галофитов в условиях Приэльтона. <i>Розенцвейг О.А., Нестеров В.Н., Богданова Е.С.</i> .....	334
Рост-регулирующая адаптация к почвенному водному дефициту ювенильных C <sub>4</sub> - растений амаранта по ходу их онтогенетического развития. <i>Рымарь В.П., Халатян О.В., Воронин П.Ю.</i> .....	335
Оценка засухоустойчивости <i>Zizyphus jujuba</i> Mill. по коллоидно-осмотическим свойствам протоплазмы листьев. <i>Семенютина В.А.</i> .....	336

Действие слабого постоянного магнитного поля на активность антиоксидантных ферментов проростков редиса. Сердюков Ю.А., Новицкий Ю.И. ....	337
Влияние дефицита азота на адаптацию морской микроводоросли <i>Nannochloropsis oceanica</i> к сильному свету и солености среды. Соловченко А.Е., Лукьянов А.А., Соловченко О.В., Khozin I.F. ....	338
Изучение снижения максимальной эффективности фотохимических процессов в побегах зимующего под снежным покровом вечнозеленого кустарничка <i>Ephedra monosperma</i> в период осенней адаптации к зимним условиям. Софронова В. Е. ....	339
Влияние пероксида водорода на функционирование антиоксидантной системы растений <i>Th. salsuginea</i> . Сошинкова Т.Н., Королькова Д.В., Радюкина Н.Л., Кузнецов Вл.В. ....	340
Осмотический потенциал видов приливно-отливной зоны Белого моря. Стародубцева А.А., Гаврилова О.Н., Кокк А.А., Марковская Е.Ф. ....	341
Протекторное действие экзогенной абсцизовой кислоты на растения в условиях засоления. Стеценко Л.А., Шевякова Н.И. ....	341
Сравнительно-физиологическое изучение генотипов мискантуса в рамках географического эксперимента. Тараканов И.Г., Хохлов Н.Ф., Чиждова М.В. ....	342
Экофизиология адаптации растений злаковых различных экотипов. Таран Н.Ю., Бацманова Л.М., Стороженко В.А., Светлова Н.Б., Конотоп Е.А., Пацко Е.В. ....	343
Сезонные изменения дегидринов в тканях ксилемы и коры <i>Betula platyphylla</i> Sukacz. Центральной и Южной Якутии. Татарина Т.Д., Бубякина В.В., Перк А.А., Пономарев А.Г., Васильева И.В. ....	344
Высокий уровень фотосинтеза и продуктивности без хлорофилла <b>b</b> : особенности фотосинтетического аппарата мутанта ячменя <i>chlorina</i> 3613. Тютерева Е.В., Иванова А.Н., Желнинская И.Ю., Войцеховская О.В. ....	345
Изменения водного обмена пшеницы при тепловом шоке. Французова В.П., Олюнина Л.Н. ....	346
Фотосинтез и транспорт ассимилятов у растений адаптированных к разной освещенности. Хамидуллина Л.А., Баташева С.Н., Бакирова Г.Г., Саляхова Г.А., Чиков В.И. ....	347
Продуктивность культурных растений в контексте ресурсных критериев. Харчук О.А. ....	348
Эволюция учения об адапционном синдроме растений к засухе на Украине. Христовая Т.Е. ....	349
Вовлечение альтернативного (цианидустойчивого) пути дыхания в листьях <i>Hylotelephium triphyllum</i> при разной освещенности. Шелякин М. А. ....	350
Недеструктивная индикация стрессового состояния растений на основе параметров фенольного обмена. Шемет С.А., Феденко В.С. ....	351
Влияние периодического кратковременного действия физиологически нормальных температур на холодоустойчивость растений огурца. Шерудило Е.Г., Сысоева М.И. ....	352
Анализ холодоустойчивости различных по скороспелости сортов топинамбура. Шерудило Е.Г., Фомина Ю.Ю., Котова З.П. ....	353
Реакция растений орнитофильных сообществ Арктики на увеличение азота. Шмакова Н.Ю., Марковская Е.Ф. ....	354
Особенности регуляции биосинтеза антоцианов у пшеницы <i>Triticum aestivum</i> L. Шоева О.Ю., Хлесткина Е.К. ....	355

Корреляция активности антиокислительных ферментов и параметров водного статуса в органах растений <i>Zea mays</i> L при окислительном стрессе, обусловленном засухой. <i>Штефьриц А., Меленчук М., Брынзэ Л., Алуки Н.</i> .....	356
Идентификация генов CLC <i>Suaeda altissima</i> (L.) Pall. <i>Шувалов А.В., Орлова Ю.В., Халилова Л.А., Мясоедов Н.А., Беляев Д.В., Балнокин Ю.В.</i> .....	357
Изменение содержания хлорофилла в хлоропластах степных растений вдоль широтного градиента в Поволжье. <i>Юдина П.К., Иванова Л.А., Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Шавнин С.А.</i> .....	358
Индукующее действие салициловой и жасмоновой кислот на защитный потенциал клеток пшеницы при инфицировании <i>Bipolaris sorokiniana</i> Ram.. <i>Яруллина Л.Г., Ахатова А.Р., Касимова Р.И.</i> .....	359

## Секция 8

### РОЛЬ УНИВЕРСИТЕТСКИХ КАФЕДР В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ

Преподавание физиологии растений и «Болонская система». <i>Дмитриева Г. А.</i> .....	362
Еще один взгляд на студенческие биологические практики. <i>Камнев А.Н.</i> .....	363
Кафедра физиологии растений и биотехнологии в Томском университете — давние традиции и современные вызовы. <i>Карначук О.В., Карначук Р.А.</i> .....	364
Особенности основных образовательных программы бакалавриата по профилю «физиология растений» и магистратуры по программе «Физиология и биохимия растений» в соответствии с ФГОС. <i>Киселева И.С.</i> .....	365
Роль учебно-полевой практики по физиологии растений в формировании профессиональной компетентности будущих учителей-биологов. <i>Лабутина М. В.</i> .....	366
Инновационные технологии при обучении физиологии растений. <i>Назаренко Л.В.</i> .....	367
Как обучение сделать интереснее и полезнее для студентов? <i>Стриж И.Г.</i> .....	368
Работа кафедры физиологии растений в условиях перехода к многоуровневому образованию. <i>Тарakanов И.Г., Яковлева О.С.</i> .....	369
Фитофизиология в инновационных процессах системы высшего образования Украины. <i>Таран Н.Ю., Панюта О.А., Косык О.И.</i> .....	370
Физиология растений в Казанском университете. <i>Тимофеева О.А., Хохлова Л.П.</i> .....	371
Основные научные направления и учебная работа на кафедре ботаники, физиологии и биохимии растений Пензенского государственного университета по подготовке специалистов разного уровня по физиологии растений. <i>Хрянин В. Н.</i> .....	371
Творческие задачи для студентов в преподавании физиологии и биохимии растений. <i>Чуб В.В., Лабунская Е.А., Аверчева О.В., Бассарская Е.М.</i> .....	372
Алфавитный указатель авторов.....	374
Содержание.....	383