

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

Годичное собрание Общества физиологов растений России

Екатеринбург, 3–8 октября, 2024



Уральский
федеральный
университет

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Институт естественных наук
и математики

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Всероссийской научной конференции
с международным участием



ABSTRACTS

All-Russian Scientific Conference
with International Participation

EXPERIMENTAL PLANT BIOLOGY AND CLIMATE CHALLENGES

Annual Meeting of the Society of Russian Plant Physiologist

Ekaterinburg, October 3–8, 2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»
Общество физиологов растений России

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

Годичное собрание Общества физиологов растений России
3–8 октября 2024 г., Екатеринбург

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
Всероссийской научной конференции с международным участием

Текстовое электронное издание

Екатеринбург
ИЗДАТЕЛЬСТВО АМБ
2024

УДК 581.1
ББК 28.57
Э41

Редакционная коллегия:
кандидат биологических наук, доцент М.Г. Малева (гл. ред.);
кандидат биологических наук, доцент И.С. Киселева;
доктор географических наук, старший научный сотрудник Г.Г. Борисова

Э41 **Экспериментальная биология растений и климатические вызовы** [Текст: электронный ресурс]: тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием. Годичное собрание Общества физиологов растений России (3–8 октября 2024 г., Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия) / Под ред. М.Г. Малевой, И.С. Киселевой, Г.Г. Борисовой. – Электрон. дан. (1 файл : 19,3 Мб). – Екатеринбург : ИЗДАТЕЛЬСТВО АМБ, 2024. – Режим доступа: ссылка на файл в электронной библиотеке.
<https://ekbofr2024-insma.urfu.ru/ru/>

ISBN 978-5-6051163-0-1

Представлены тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием «Экспериментальная биология растений и климатические вызовы», состоявшейся в Уральском федеральном университете (3–8 октября 2024 г., г. Екатеринбург) в рамках Годичного собрания Общества физиологов растений России. Учёными из более чем 25 городов Российской Федерации, а также из Беларуси, Болгарии, Турции, Южной Африки и Индии рассмотрены актуальные вопросы функционирования растительных организмов в условиях меняющейся биосферы. Научные направления охватывают молекулярные и экосистемные механизмы фотосинтеза и продукционного процесса растений, секвестрации углерода, адаптации растений к условиям среды. Описаны современные тенденции развития биотехнологии растений, включая омиксные подходы. Сборник будет интересен биологам, биотехнологам, экологам, специалистам сельского и лесного хозяйства.

УДК 581.1
ББК 28.57

ISBN 978-5-6051163-0-1

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Russian Academy of Sciences
Institute of Plant Physiology named after K.A. Timiryazev RAS
Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin
Russian Society of Plant Physiologists

**EXPERIMENTAL PLANT BIOLOGY
AND CLIMATE CHALLENGES**

Annual Meeting of the Russian Society of Plant Physiologists
October 3–8, 2024, Ekaterinburg

ABSTRACTS

All-Russian Scientific Conference with International Participation

Electronic text publication

Ekaterinburg
AMB PUBLISHING HOUSE
2024

УДК 581.1
ББК 28.57
Э41

Editorial board:

M.G. Maleva, Ph.D (editor-in-chief); I.S. Kiseleva, Ph.D;
G.G. Borisova, Dr.Sc., Senior Researcher

Э41 Experimental Plant Biology and Climate Challenges : – Electronic data (1 file : 19,3 Mb). Abstracts of the All-Russian Scientific Conference with International Participation. Annual Meeting of the Russian Society of Plant Physiologists (October 3–8, 2024, Ekaterinburg, Russia): / Ed. by M.G. Maleva, I.S. Kiseleva, G.G. Borisova. – Electronic data (1 file : 19,3 Mb). – Ekaterinburg : AMB PUBLISHING HOUSE, 2024. – Access : <https://ekbofr2024-insma.urfu.ru/ru/>

ISBN 978-5-6051163-0-1

Abstracts of the All-Russian Scientific Conference with International Participation “Experimental Plant Biology and Climate Challenges” held at the Ural Federal University (October 3–8, 2024, Ekaterinburg) as a part of the Annual Meeting of the Russian Society of Plant Physiologists are presented. Researchers from more than 25 cities of the Russian Federation, as well as from Belarus, Bulgaria, Turkey, South Africa and India present current issues of plant life in the changing Biosphere. The topics cover molecular and ecosystem mechanisms of photosynthesis and primary production, carbon sequestration, adaptation of plants to the environment. Modern trends in the development of plant biotechnology, including omics approaches, are described. The abstracts will be interesting to biologists, biotechnologists, ecologists, agriculture and forestry specialists.

УДК 581.1
ББК 28.57

ISBN 978-5-6051163-0-1

Проведение конференции и публикация сборника частично поддержаны Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (проект FEUZ-2024-0011), «золотыми» спонсорами – ООО «СкайДжин» и ООО «Диаэм» и «бронзовыми» спонсорами – ООО «Биолабмикс» и ООО «Химмед-Поволжье»

«ЗОЛОТЫЕ» СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

ООО «СкайДжин»

The logo for SkyGen features the word "Sky" in blue and "Gen" in green, with a stylized green leaf-like shape integrated into the letter 'n'.

ООО «Диаэм»



«БРОНЗОВЫЕ» СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

ООО «Химмед-Поволжье»



ООО «Биолабмикс»



Содержание

Предисловие	19
-------------------	----

Пленарные доклады

Oktan E., Atar N. Investigation of the effect of climate change on natural assets	21
---	----

Воронин П.Ю. Мониторинговая оценка возможного снижения углерод-секвестрирующей способности лесорастительной зоны вдоль широтной трансекты Северной Евразии	22
--	----

Горшкова Т.А., Петрова А.А., Суслов М.А., Горшков О.В., Чернова Т.Е. Комплекс методов для характеристики перехода от распределенного к акцентированному скелету в ходе развития растений	23
--	----

Демидчик В.В. Ответ растительной клетки на солевой стресс: от кальциевого сигнала до ионного дисбаланса	24
--	----

Демченко К.Н., Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л. Ключевые транскрипционные факторы и их мишени в регуляции быстрого ветвления корневых систем	25
--	----

Константинов Ю.М., Горбенко И.В., Зверинцева К.М. Неканонические и канонические свойства митогеномов растений и перспективы их использования в биотехнологии	26
--	----

Максимов Т.Х., Долман Х., Ота Т. Могут ли репрезентативные экосистемы России претендовать на национального донора углеродных единиц?	27
--	----

Ташев А.Н., Ташев Н.А. Миграция древесных растений в южное Черноморское побережье Болгарии	28
--	----

Фомин В.В., Михайлович А.П., Агапитов Е.М., Голиков Д.Ю., Рогачев В.Е., Костоусова Е.А., Переходова Е.С., Коритняк Е.М. Пространственно-временная динамика популяции лиственницы сибирской вблизи верхнего предела её произрастания на Полярном Урале в условиях современного изменения климата	29
---	----

Цыганов В.Е., Китаева А.Б., Кусакин П.Г., Горшков А.П., Киричек Е.А., Цыганова А.В. Роль тубулинового цитоскелета в развитии симбиотических клубеньков бобовых	30
--	----

Секция 1 «Фотосинтез и секвестрация углерода растениями: молекулярные и экосистемные механизмы»

Sofronova V.E. Exploring of the plastoquinone pool accumulation in field-grown low temperature-stressed <i>Ephedra monosperma</i>	32
---	----

Абрамова А.А., Верещагин М.В., Креславский В.Д., Пашковский П.П. Роль фоторецепторов и компонентов светового сигналинга в адаптации фотосинтетического аппарата к повышенным дозам UV-B	33
---	----

Галибина Н.А., Никерова К.М., Мошенская Ю.Л., Тарелкина Т.В., Корженевский М.А., Серкова А.А., Афошин Н.В. Перестройки углеводного и фенольного обменов при формировании древесины у сосны обыкновенной в разных лесорастительных условиях: биохимические и молекулярные аспекты.....	34
Евлаков П.М., Гродецкая Т.А. Потенциал секвестрации углерода у быстрорастущих тополей.....	35
Кузнецова Д.В., Ладейнова М.М., Воденеев В.А. Роль жасмонатов в изменении фотосинтетической активности растений арабидопсиса при действии локального стимула.....	36
Маханцева В.А., Дворников Ю.А., Сушко С.В., Иващенко К.В. Определение скорости смещения горно-лесного пояса по данным полевых и дистанционных материалов.....	37
Мигалина С.В., Иванова Л.А., Ронжина Д.А., Иванов Л.А. Фракционирование стабильных изотопов углерода у видов <i>Betula</i> связано с изменением параметров мезофилла вдоль климатического градиента.....	38
Мошенская Ю.Л., Галибина Н.А., Корженевский М.А., Тарелкина Т.В., Никерова К.М., Семенова Л.И. Участие растительных нуклеаз в формировании тканей ствола древесных растений	39
Новичонок Е.В., Галибина Н.А., Климова А.В. Никерова К.М., Софронова И.Н., Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Семенова Л.И. Оценка состояния фотосинтетического аппарата подроста ели европейской после рубок ухода	40
Пузина Т.И., Макеева И.Ю., Кириллова И.Г. Влияние кофейной кислоты на фотосинтетическую активность и содержание фитогормонов у <i>Solanum tuberosum</i> в зависимости от структурного состояния тубулинового цитоскелета.....	41
Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Прокофьева М.Ю., Саидова Л.Т., Анисина А.А., Воронин П.Ю. Влияние индивидуального и комбинированного действия засухи, повышенной температуры и CO ₂ на C ₃ и C ₄ виды семейства Amaranthaceae.....	42
Синенко О.С., Полянская А.П., Трубецкой Д.В., Канивец М.О., Патрикеева А.А., Киселева И.С. Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов основных лесобразующих пород карбонового полигона «Урал-Карбон»	43
Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Галибина Н.А., Теслюк И.А., Софронова И.Н., Семин Д.Е., Качанова Е.В., Семенова Л.И. Транспорт углерода по флоэме деревьев сосны в корневые системы и почву на территории ГПЗ «Кивач» (Республика Карелия).....	44
Теребова Е.Н., Павлова М.А., Красильников П.В. Функционирование растительных галофитных сообществ на прибрежной территории Белого и Баренцева морей	45
Шуйская Е.В., Халилова Л.А., Прокофьева М.Ю., Рахманкулова З.Ф. Признаки C ₄ -подобного типа фотосинтеза у C ₄ -НАДФ вида <i>Kochia prostrata</i> при разных концентрациях CO ₂	46

Секция 2 «Производственный процесс растений и факторы его лимитирования в природных условиях и агрофитоценозах. Дистанционные методы оценки и коррекции продуктивности»

Алшиха А., Прохоренко Н.Б., Тимофеева О.А.

Оценка содержания и биологической активности терпеноидов в растениях семейства Lamiaceae48

Анисимов А.А., Никитин М.М., Смолкин К.А., Тараканов И.Г.

Влияние красного и дальнего красного света на производственный процесс салата-латука49

Бельшенко А.Ю., Моргунова М.М., Малыгина Е.В., Имидоева Н.А., Дмитриева М.Е., Вавилина Т.Н., Аксёнов-Грибанов Д.В.

Оценка способности *Vesicularia dubyana* Broth. к синтезу биогенных аминов50

Власова Е.В., Алиева З.М., Мамедова К.К.

Флуоресцентные параметры сортов винограда в условиях солевого стресса51

Голиванов Я.Ю., Захарова Е.В.

Оценка репродуктивной способности обыкновенной злаковой тли (*Schizaphis graminum* R.) на яровой тритикале при обработке регуляторами роста циркон и Эпин-Экстра52

Гончарова А.М., Москаленко А.Е., Дворникова Е.Н., Ломоватская Л.А.

Влияние гомогената из растений картофеля на титр планктонной культуры, плотность биопленок и активность пектиназы *Pectobacterium atroseptica*53

Донская М.В.

Особенности развития растений нута при использовании микробиологических препаратов54

Драгавцев В.А., Гончарова Э.А.

Вавиловская коллекция генетических ресурсов растений и физиологические основы селекции55

Захарова Е.В.

Влияние УФ-В на активность каспазо-3-подобной протеазы при совместимом опылении у *Petunia hybrida* E. Vilm56

Иванов Л.А., Ронжина Д.А., Мигалина С.В., Юдина П.К., Иванова Л.А.

Зональное, широтное и высотное варьирование фотосинтетических пигментов растений57

Иванова Л.А., Ронжина Д.А., Мигалина С.В., Юдина П.К., Калашникова И.В., Иванов Л.А.

Оценка фотосинтетического потенциала травяного сообщества на основе мезоструктуры листьев растений58

Икконен Е.Н., Юркевич М.Г.

Физиологический отклик агрокультур на внесение в почву отходов целлюлозно-бумажного производства59

Кириллова И.Г.

Совместное действие регулятора роста и микроэлементов на физиолого-биохимические показатели растения картофеля60

Киселева И.С.

Динамика низко- и высокомолекулярных углеводов в разных органах растения ячменя в связи с формированием колоса61

Коробко В.В., Даштоян Ю.В., Калинина А.В. Корнеобеспеченность проростков интерогрессивных линий мягкой пшеницы в условиях засоления.....	62
Королёв К.П. Потенциал продуктивных и адаптивных критериев растений <i>Linum usitatissimum</i> L. в различных условиях выращивания	63
Кузнецова М.В., Кузнецова Т.Н., Фархутдинов Р.Г. Применение биопрепарата на основе эндофитного штамма <i>Bacillus subtilis</i> 3Н в агрофитоценозе картофеля.....	64
Лёвкин И.А., Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г. Влияние коротких свето-темновых циклов на растения <i>Nicotiana tabacum</i> в рассадный период.....	65
Мамаев А.В., Шibaева Т.Г. Роль интеграла дневного освещения в реакции растений на аномальные свето-темновые циклы.....	66
Минич А.С., Минич И.Б. Изменение посевных качеств семян <i>Raphanus sativus</i> var. <i>radicula</i> обработкой плазмой с одним барьерным разрядом.....	67
Никерова К.М., Галибина Н.А., Софронова И.Н., Мощенская Ю.Л., Корженевский М.А., Климова А.В., Тарелкина Т.В. Пространственно-временные параметры отбора тканей узорчатых растений карельской березы для изучения ксилогенеза.....	68
Решетняк Н.В., Мазалов О.В. Влияние агроприемов выращивания на фотосинтетическую деятельность и урожайность подсолнечника в короткороционном севообороте	69
Ронжина Д.А. Содержание хлорофиллов в листьях и продуктивность прибрежно-водных растений Среднего Урала.....	70
Рубаева А.А., Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г. Повышение продуктивности, пищевой ценности и биобезопасности микрорезелени <i>Brassica rapa</i> L. с помощью изменения световых условий в конце продукционного цикла.....	71
Стадничук И.Н., Болычевцева Ю.В. Алкоголь и фотосинтез у микроводорослей.....	72
Тихомиров А.А., Величко В.В. Управление продукционным процессом в условиях современной светокультуры.....	73
Ульянов А.И., Захарова Е.В. Рост мужского гаметофита в проводниковых тканях пестика при межродовой гибридизации ♀ <i>Petunia hybrida</i> E. Vilm. × ♂ <i>Salpiglossis sinuata</i> Ruiz & Pav.	74
Фадеева Ю.Ю., Тараканов И.Г. Влияние интеграла суточной радиации на фотосинтетический аппарат растений руколы (<i>Eruca sativa</i> Mill)	75

Феоктистова А.В., Тимергалин М.Д., Четвериков С.П. Различия в гормональной реакции и росте контрастных по засухоустойчивости сортов пшеницы под влиянием штамма <i>Enterobacter ludwigii</i> BLK при дефиците воды	76
Фомин В.В., Агапитов Е.М., Рогачев В.Е., Голиков Д.Ю., Костоусова Е.А., Переходова Е.С., Коритняк Е.М. Количественная оценка запаса углерода на карбоновом полигоне Свердловской области с использованием результатов наземных измерений и данных дистанционного зондирования сверхвысокого пространственного разрешения.....	77
Ханина Т.П., Бен С., Голиванов Я.Ю., Захарова Е.В. Рост мужского гаметофита в тканях пестика растений яровой ржи (<i>Secale cereale</i> L.) сорта Селенга при самонесовместимом и перекрестно-совместимом опылениях	78
Хачатуров Э.Г., Коробко В.В., Гребенкина А.А. Морфометрический анализ побега твердой пшеницы сортов саратовской селекции.....	79
Шерудило Е.Г., Рубаева А.А., Икконен Е.Н., Лёвкин И.А., Титов А.Ф., Шibaева Т.Г. Влияние укороченных свето-темновых циклов на рост, продуктивность и пищевую ценность микрозелени гороха	80
Шibaева Т.Г., Титов А.Ф. Фотопериодический стресс у растений	81
Шишпарёнок А.А., Рогожин Е.А. Биохимические соединения в яблоках с полезными для здоровья человека свойствами	82
Шмыгов А.В., Савина А.О., Макаренко С.А. Биологические особенности и химический состав ягод гибридов и сортов жимолости селекции Свердловской селекционной станции садоводства	83
Секция 3 «Растения в изменяющихся среде и климате»	
Ivanov Yu.V., Ivanova A.I., Kartashov A.V., Kuznetsov V.I. The growth and physiological parameters of scots pine seedlings during recovery from zinc toxicity	85
Margarit A.A., Gurina A.K., Kazantaeva M., Shaukharov R.A., Stepanova N.V., Kamionskaya A.M., Smolikova G.N., Vishnyakova M.A., Frolov A.A. Evaluation of the quality of cluster bean (<i>Cyamopsis tetragonoloba</i>) seeds produced under drought conditions using the accelerated aging method	86
Sofronova V.E. Exploring of α -tocopherol accumulation in field-grown low temperature-stressed <i>Ephedra monosperma</i>	87
Авальбаев А.М., Юлдашев Р.А., Плотников А.А., Коряков И.С., Аллагулова Ч.Р. Влияние 24-эпибрассинолида на рост и гормональный баланс различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы в условиях дефицита влаги	88
Агеева М.Н., Воденеев В.А., Брилкина А.А. Влияние засоления на морфологические параметры и рН цитозоля отдельных зон корня арабидопсиса и табака.....	89
Алиева З.М. Оценка действия метронидазола на ростовые и регенерационные процессы растений	90

Аллагулова Ч.Р., Юлдашев Р.А., Авальбаев А.М. Влияние обезвоживания на редокс-параметры двух экотипов пшеницы, различающихся по устойчивости к засухе	91
Анохина Г.Б., Шахов З.Н., Москвина П.П., Плотникова Е.В., Епринцев А.Т. Изменения функционирования шунта γ -аминомасляной кислоты при адаптации клеточного метаболизма к засолению в листьях <i>Zea mays</i> L.	92
Антонова Е.В., Шималина Н.С., Короткова А.М., Колосовская Е.В., Герасимова С.В., Хлесткина Е.К. Изменчивость физиологических показателей у проростков ячменя, нокаутированного по генам <i>NUD</i> и <i>WIN1</i> , при действии стрессовых факторов	93
Афошин Н.В., Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Семенова Л.И., Иванова Д.С. Влияние погодных условий на формирование проводящих тканей ствола <i>Pinus sylvestris</i> L. в условиях Южной Карелии	94
Бойко Е.В., Головацкая И.Ф., Бойко Е.Г., Кадырбаев М.К. Эффективность действия мелатонина на формирование засухоустойчивости растений огурца в зависимости от условий освещения	95
Брейгина М.А., Кочкин Д.В., Лунёва О.Г., Бабушкина К.О. Низкомолекулярные факторы, контролирующие прорастание пыльцы на влажном рыльце	96
Бычков И.А., Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В. Взаимодействие мелатонина и АБК при фотоокислительном стрессе	97
Величко Н.С., Федоненко Ю.П. Влияние <i>Herbaspirillum</i> spp. на рост и антиоксидантную систему ранних проростков пшеницы	98
Воронков А.С., Иванова Т.В., Серёгин И.В., Кожевникова А.Д. Конъюгированные жирные кислоты липидов в побегах гипераккумулятора цинка <i>Arabidopsis halleri</i>	99
Гармаш Е.В., Силина Е.В., Белых Е.С., Шелякин М.А., Малышев Р.В. Альтернативная оксидаза влияет на метаболизм аскорбата в растениях <i>Arabidopsis thaliana</i> : возможные связи между электрон-транспортными путями в митохондриях	100
Гордеева И.В. Флуктуирующая асимметрия как показатель общего уровня стресса, испытываемого растениями при воздействии неблагоприятных факторов окружающей среды	101
Горелова С.В., Братчиков Д.Ю. Низкомолекулярные антиоксиданты молодых древесных растений в условиях техногенно загрязненной городской среды	102
Грабельных О.И., Рудковская У.А., Корсукова А.В., Полякова Е.А., Любушкина И.В., Забанова Н.С., Бережная Е.В., Побежимова Т.П., Дорофеев Н.В. Физиологические основы стресс-протекторного действия тебуконазола в начальный период развития пшеницы	103
Григориади А.С., Федяев В.В., Морозова А.А., Сотникова Ю.М., Фархутдинов Р.Г. Влияние комплекса биоремедиационных мероприятий на некоторые биохимические показатели растений-фиторемедиантов, произрастающих в условиях нефтяного стресса	104

Григорьев М.Р., Максимов Т.Х., Максимов А.П. Влияние лесных пожаров на фотосинтез березы плосколистной в Центральной Якутии.....	105
Гринберг М.А., Немцова Ю.А., Иванова А.В., Пирогова П.А., Печёрина А.А., Ильин Н.В., Мареев Е.А., Воденеев В.А. Стрессовый сигналинг как наиболее чувствительный процесс к действию низкоинтенсивного ионизирующего излучения и магнитного поля.....	106
Данилова Е.Д., Литвиновская Р.П., Ефимова М.В. Браassinостероиды повышают солеустойчивость растений ячменя.....	107
Егоров Ю.А., Заболоцкая А.П., Охлопкова Ж.М. Генотипирование <i>Thermopsis jacutica</i> Czefr.	108
Емельянов В.В.1, Пузанский Р.К., Богданова Е.М., Ванисов С.А., Кирпичникова А.А., Шаварда А.Л., Шишова М.Ф. Метаболическое профилирование колеоптилей проростков риса, отличающихся интенсивностью роста при затоплении	109
Ершова А.Н. Исследование активности β-глюкозидазы растений гороха в условиях гипоксии и действия металлов при использовании природных и синтетических субстратов	110
Ефимова М.В., Коломейчук Л.В., Мурган О.К., Данилова Е.Д., Литвиновская Р.П., Жабинский В.Н., Хрипач В.А., Кузнецов Вл.В. Регуляция защитных систем растений ячменя при засухе лактон- и кетон-содержащими браassinостероидами.....	111
Зубова М.Ю., Загоскина Н.В. Особенности биосинтеза полифенолов на начальных этапах адаптации клеток растений к световому воздействию (на примере <i>Camellia sinensis</i> L.)	112
Иванова А.В., Немцова Ю.А., Пирогова П.А., Воденеев В.А., Гринберг М.А. Сопоставление дозовых зависимостей морфометрических, физиологических и сигнальных показателей у проростков пшеницы при действии ионизирующего излучения.....	113
Исламова Н.А., Бухарина И.Л. Влияние инокуляции растений эндофитным грибом <i>Fusarium equiseti</i> на их устойчивость к содержанию тяжелых металлов в почве	114
Казнина Н.М., Батова Ю.В., Репкина Н.С. Реакция однолетних злаков на недостаток или избыток цинка в корнеобитаемой среде.....	115
Кирпичникова А.А., Данелия Г.В., Бикташева М.О., Емельянов В.В., Шишова М.Ф. Изменения плазмалеммных H ⁺ -АТФазы и аквапоринов семейства PIP1 в процессе роста растяжением клеток колеоптилей риса в норме и при затоплении.....	116
Климова В.Н., Чукина Н.В., Лукина Н.В. Структурно-функциональные характеристики <i>Pinus sylvestris</i> L. в естественных и трансформированных местообитаниях Среднего Урала	117
Крючкова Е.В. Роль ризобактерий в стабилизации меди корнями растений.....	118
Кудоярова Г.Р., Ахиярова Г.Р., Вафина Г.Х., Веселов Д.С. Транспорт жасмонатов из корней в побеги растений гороха при засолении	119

Кузнецов В.В., Бычков И.А., Кудрякова Н.В. Является ли фитомелатонин новым гормоном растений?	120
Кумахова Т.Х., Воронков А.С. Кутинсомы – бионаноструктуры поверхностных тканей <i>Malus domestica</i> Borkh.....	121
Лагошина А.Г., Белоус О.Г., Пчихачев Э.К. Динамика ферментативной активности <i>Camelia sinensis</i> в условиях предгорной зоны Северо-Западного Кавказа	122
Лазарева Е.А., Лезжов А.А., Чергинцев Д.А., Хейнлайн М., Морозов С.Ю., Соловьев А.Г. Сходство транспортных белков вирусов растений и ретикулонов растений	123
Лебедев В.Г., Карунас А.С., Селиванова Е.В., Шестибратов К.А. Реакция различных видов березы на засуху и недостаток азота.....	124
Лукаткин А.А., Лукаткин А.С. Глобальные изменения климата и направленное повышение адаптивных способностей сельскохозяйственных растений.....	125
Лыкова Т.Ю., Максимова А.И., Добрякова К.С., Войцеховская О.В., Тютерева Е.В. Получение трансгенных линий <i>Arabidopsis thaliana</i> с флуоресцентно меченым белком автофагосом Atg8a для прижизненного изучения стресс-индуцируемой автофагии.....	126
Любушкина И.В., Кириченко К.А., Полянская И.В., Полякова М.С., Корсукова А.В., Забанова Н.С., Грабельных О.И., Побежимова Т.П., Дударева Л.В., Войников В.К. Токсическое влияние синтетических ауксинов на жирнокислотный состав этиолированных и зеленых побегов проростков яровой пшеницы.....	127
Лянгузова И.В. Экотоксикологическая оценка растений и грибов при разной интенсивности аэротехногенного загрязнения.....	128
Макеева А.А., Мамаева А.С., Азаркина Р.А., Ганаева Д.Р., Ковальчук С.И., Зиганшин Р.Х., Фесенко И.А. Системный анализ протеома пшеницы мягкой (<i>Triticum aestivum</i>) в условиях засухи	129
Малыгин М.В., Показаньева М.В., Ермошин А.А., Киселева И.С. Влияние экзогенного салицилата на развитие аэренхимы и редокс-статус в семенных корнях ячменя при гипоксии.....	130
Муртузова А.В., Тютерева Е.В., Войцеховская О.В. Влияние дефицита калия на работу киназного модуля TOR-snRK1 у <i>Arabidopsis thaliana</i>	131
Мшенская Н.С., Сеницына Ю.В., Кальясова Е.А., Ашутова Е.А., Клепиков В.А., Мелузов М.Н. Защитное действие магнитного поля с частотой Шумановского резонанса на окислительные процессы в растениях пшеницы в условиях засухи	132
Немцова Ю.А., Иванова А.В., Печёрина А.А., Агеева М.Н., Воденев В.А., Гринберг М.А. Роль сигнальных систем в вызванной хроническим облучением модификации адаптационных процессов к стрессовым факторам у растений табака	133
Нохсоров В.В., Слепцов И.В., Петров К.А. Стериновый профиль ярового овса (<i>Avena sativa</i> L.) при осеннем понижении температуры в условиях криолитозоны.....	134

Опекунова М.Г., Никулина А.Р. Изменение биоиндикационных характеристик сосны обыкновенной <i>Pinus sylvestris</i> L. в регионе воздействия АО «Карельский окатыш»	135
Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А., Федорова Е.А. Сортовая специфика элементного состава и устойчивости ярового ячменя	136
Охлопкова Ж.М., Разгонова М.П.2 Исследование различных классов биологически активных веществ из экстрактов <i>Dryopteris fragrans</i> (L.) Schott, произрастающего на полюсе холода – Оймякон	137
Парфенова Е.И., Чебакова Н.М. Биоклиматические зависимости продолжительности жизни основных лесообразующих пород Сибири	138
Платова Н.Г., Иноземцев К.О., Шуршаков В.А. Эффект годового экспонирования семян салата <i>Lactuca sativa</i> L. на антарктической станции «Восток» и последующего хранения	139
Пузанский Р.К., Кирпичникова А.А., Богданова Е.М., Шаварда А.Л., Шишова М.Ф. Метаболические изменения в процессе развития суспензионных культур клеток табака при разных трофических условиях	140
Пшибытко Н.Л., Вачинская А.В., Русакович А.А., Демидчик В.В. Редокс-состояние переносчиков электронов в проростках <i>Hordeum vulgare</i> при совместном воздействии <i>Fusarium culmorum</i> и повышенной температуры	141
Репкина Н.С., Казнина Н.М., Воронин В.П., Мурзина С.А. Влияние экзогенной предобработки метилжасмонатом на некоторые физиолого-биохимические показатели проростков пшеницы при действии кадмия	142
Решетняк Н.В., Тимошин Н.Н., Косогова Т.М., Мазалов О.В., Попытченко Л.М. Влияние засухи на рост и развитие подсолнечника, выращиваемого в степных агроценозах Донбасса	143
Самарская В.О., Спеченкова Н.А., Калинина Н.О., Тальянский М.Э. Разнообразие вирусов картофеля на территории Московской и Астраханской областей России	144
Силина Е.В., Маслова С.П., Шелякин М.А., Малышев Р.В., Далькэ И.В. Изменение про-/антиоксидантного баланса и энергетического статуса в почках возобновления <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden. в процессе развития.....	145
Соловьев А.Г., Атабекова А.К., Лезжов А.А., Лазарева Е.А., Морозов С.Ю. Роль межмембранных контактов в транспорте вирусов в растениях	146
Соболева Г.В., Соболев А.Н. Относительная засухоустойчивость листовых мутантов гороха.....	147
Соболев Д.С., Голденкова-Павлова И.В., Тюрин А.А. Анализ регуляторных элементов мРНК растений, ответственных за модуляцию экспрессии генов при воздействии холодового стресса (на модели томата).....	148
Спеченкова Н.А., Багдасарова П.Е., Калинина Н.О., Тальянский М.Э. Роль поли(АДФ-рибозил)ирования в ответе растений на абиотический стресс.....	149

Стриженов А.Д., Тютерева Е.В. Оценка повреждения геномной ДНК в проростках ячменя с применением нейтральной и щелочной версии Comet Assay	150
Суслов М.А., Ахтямова Г.А., Анисимов А.В. Взаимосвязь апопластного и трансклеточного путей радиального транспорта воды в корнях растений	151
Сухорукова А.В., Тюрин А.А., Голденкова-Павлова И.В. Дифференциальная транскрипционная и трансляционная активность генов растений в условиях холодового стресса	152
Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В., Силина Е.В. Криорезистентность и активность про/антиоксидантной системы почек возобновления очитника трехлистного в процессе перезимовки.....	153
Татарнинова Т.Д., Перк А.А., Васильева И.В., Пономарев А.Г. Адаптивные особенности сезонных изменений дегидринов хвойных растений в природно-климатических условиях Якутии.....	154
Тютерева Е.В., Муртузова А.В., Войцеховская О.В. Влияние хронического дефицита калия на процессы автофагии и программированной клеточной гибели в клетках корня <i>Arabidopsis thaliana</i>	155
Фролов А.А. Экспериментальные модели засухи – фундаментальные и практические аспекты	156
Халилова Л.А., Воронков А.С. Участие Flot1, белка мембранных нанодоменов, в образовании ранних эндосом в клетках корней <i>Arabidopsis thaliana</i> в условиях стресса.....	157
Холопцева Е.С., Батова Ю.В., Казнина Н.М. Ответная реакция растений горчицы белой на совместное действие избытка цинка и низкой температуры.....	158
Худякова А.Ю., Кособрюхов А.А., Пашковский П.П., Креславский В.Д. Криптохромы и их роль в адаптации растений.....	159
Чернышева А.К. Изменения содержания пролина в листьях кресс-салата и пшеницы при соле-щелочном стрессе	160
Чумак М.И., Белоус О.Г. Устойчивость сортов винограда к стрессорам летнего периода во влажных субтропиках России.....	161
Шелякин М.А., Захожий И.Г., Силина Е.В., Малышев Р.В. Адаптивная реакция фикобионта лишайника <i>Peltigera aphthosa</i> (L.) Willd. на УФ-В облучение.....	162
Шималина Н.С., Антонова Е.В., Позолотина В.Н. Влияние ионизирующей радиации и погодных условий на межгодовую изменчивость жизнеспособности семенного потомства <i>Plantago major</i>	163

Шугаева Н.А., Бычков И.А., Буцанец П.А., Шугаев А.Г.
Влияние мелатонина на альтернативное дыхание листьев арабидопсиса дикого типа и мутанта по синтезу brassinosteroidов (*det2*) в условиях интенсивного освещения 164

Юдина П.К., Иванова Л.А., Ронжина Д.А., Мигалина С.В.1, Калашникова И.В., Иванов Л.А.
Влияние климата на архитектуру ассимиляционных тканей C4-растения *Bassia prostrata*..... 165

Юлдашев Р.А., Авальбаев А.М., Плотников А.А., Коряков И.С., Аллагулова Ч.Р.
Роль агглютинина зародыша пшеницы в защитном действии 24-эпибрассинолида на различающиеся по стратегии адаптации к засухе экотипы пшеницы в условиях обезвоживания 166

Секция 4 «Фитобиотехнологии: ответ на глобальные вызовы»

Dushkov V.Yu.
“The law of biogeotechnological modeling” and the “Noospheric” idea of V.I. Vernadsky..... 168

Kumar A., Tripti, Maleva M.G.
Bioaugmentation of cadmium-contaminated agricultural soils using *Amaranthus caudatus* and beneficial plant growth promoting rhizobacteria 169

Авраменко А.В., Тугбаева А.С., Салата А., Борисова Г.Г., Малева М.Г.
Биоудобрение на основе биочара и галотолерантных PGP-ризобактерий повышает солеустойчивость *Helianthus annuus* L. 170

Андрейчук Д.Д., Амброс Е.В.
Оптимизация условий культивирования «бородатых» корней *Glycherriza uralensis* для увеличения биомассы и продукции фенольных соединений..... 171

Антонова Е.Е., Кучарова Е.В., Охлопкова Ж.М.
Получение первичной суспензионной культуры клеток *Artemisia jacutica* Drobow 172

Баранова Е.Н.
Премодуляция окислительного стресса в пластидах для защиты растений табака от холодовых повреждений..... 173

Березина Е.В., Приписнова Е.С., Стручкова И.В.
Влияние гриба эрикоидной микоризы *Oidiodendron maius* G.L. Barron на растения *Vaccinium macrocarpon* Ait. на протяжении 10 месяцев сокультивирования 174

Бетехтина А.А., Воропаева О.В., Малахеева А.В., Малева М.Г.
Формирование азотфиксирующей ризосферной микрофлоры и содержание фотосинтетических пигментов у однодольных культурных растений в условиях низкой обеспеченности азотом 175

Богомолв Д.А., Назин М.Д., Немцева В.А., Ермошин А.А., Киселева И.С.
Влияние геномного состава и плоидности пшениц на качество клейковины 176

Борисова С.Д., Медведева А.С.
Аквапоническое выращивание алоэ древовидного (*Alóe arboréscens*)..... 177

Брилкина А.А., Рыбин Д.А., Сухова А.А., Сёмин А.А., Березина Е.В. Сравнительный анализ продуктивности фенольных соединений культурами кallусных и суспензионных клеток вересковых растений	178
Бурьгин Г.Л., Фадеева Ю.В., Кусмарцева Ю.А., Матора Л.Ю., Щеголев С.Ю. Рецепторная система FLS2-BAK1 определяет успешность бактериальной колонизации растений	179
Венжик Ю.В., Дерябин А.Н., Нарайкина Н.В., Жукова К.В., Успенская М.Г., Кочетков И.М. Нанопрайминг активирует метаболизм растений и увеличивает их устойчивость к холоду.....	180
Головацкая И.Ф., Матвейкина Д.А., Медведева Ю.В., Большакова М.А., Лаптев Н.И. Роль салициловой кислоты в регуляции метаболизма антиоксидантов кallусной культуры <i>Saussurea orgaadayi</i>	181
Гончарук Е.А., Казанцева В.В., Загоскина Н.В. Микрогрины растений как одно из направлений получения биологически активных соединений методами фитобиотехнологии (на примере <i>Linum usitatissimum</i> L.)	182
Демьянчук И.С., Павленко О.С., Тюрин А.А., Мустафаев О., Голденкова-Павлова И.В. Новые подходы к дизайну эффективных систем экспрессии целевых белков в растительных системах.....	183
Ермошин А.А., Королева Е.С., Радомский Я.С., Тептина А.Ю., Киселева И.С. Содержание фенольных соединений и антиоксидантная активность некоторых видов астргалов Урала.....	184
Жуковская Н.В., Лунькова Н.Ф., Быстрова Е.И., Иванов В.Б. Зависимость продолжительности митотических циклов от гаплоидного содержания ДНК и от плоидности.....	185
Захарченко Н.С., Рукавцова Е.Б., Пунтус И.Ф., Филонов А.Е., Звонарев А.Н., Терентьев В.В., Ариповский А.В., Храмов Р.Н. Использование фотолюминофорных покрытий улучшает рост растений горчицы сарептской <i>Brassica juncea</i> L., колонизированных ассоциативными микроорганизмами.....	186
Катанская В.М., Храмова Е.П., Костикова В.А., Васильева О.Г., Сажина Н.Н., Загоскина Н.В. Микропобеги рододендронов: фитохимический профиль и антиоксидантная активность	187
Колачевская О.О., Мякушина Ю.А., Синькевич И.А., Ломин С.Н., Романов Г.А. Влияние рецепторов цитокинина на развитие растений картофеля (<i>Solanum tuberosum</i> L.) в условиях недостатка влаги.....	188
Колесникова Е.О., Донских Е.И., Бердников Р.В. Разработка технологии массового производства линий компонентов гибридов сахарной свеклы <i>in vitro</i> для отечественной селекции.....	189
Крыжко А.В. Перспективный энтомопатогенный штамм <i>Bacillus thuringiensis</i> 0271	190

Лотоцкий С.О., Матыков Н.Е., Ермошин А.А. Аминокислотный состав каллуса солодки голой.....	191
Малева М.Г., Дарказанли М., Борисова Г.Г., Ильин В.А., Кумар А. Инокуляция цинк-солубилизирующими RGP-ризобактериями совместно с опрыскиванием йодом как эффективная агротехнология для биообогащения семян пшеницы	192
Муратова А.Ю., Панченко Л.В., Кузянов Д.А. Роль растительных флавоноидов в ризодеградации ПАУ	193
Павленко О.С., Тюрин А.А., Демьянчук И.С., Мустафаев О., Голденкова-Павлова И.В. Трансляционные карты растений – новый инструмент фундаментальной и прикладной биологии	194
Рогожин Е.А., Барашкова А.С., Шевчук Т.В. К механизму действия ресвератрола из рейнутрии японской (<i>Reynoutria japonica</i>).....	195
Савельева Е.М., Ломин С.Н., Архипов Д.В. Биоинформатические исследования предсказывают существование трансмембранных фосфотрансмиттеров в цитокининовом сигнальном пути.....	196
Ткаченко О.В., Каргаполова К.Ю., Денисова А.Ю., Луговицкая Т.Н., Шипенок К.М., Шиповская А.Б. Биологическая активность наноструктурных полиэлектrolитных препаратов в отношении растений и фитопатогенов.....	197
Третьякова И.Н., Пак М.Э., Сельдимирова О.А., Орешкова Н.В. Репродукция <i>Larix sibirica</i> через соматический эмбриогенез в культуре <i>in vitro</i>	198
Федоненко Ю.П., Величко Н.С., Кузина М.С., Гринев В.С., Сигида Е.Н. Стимулирующая рост и развитие растений активность галофильных бактерий, выделенных из соленых озер Волгоградской области	199
Филимонова Е.И., Глазырина М.А., Лукина Н.В., Колодько Ю.С. Применение микробиологического препарата при выращивании злаков на техногенных субстратах	200
Ширяев Г.И., Подшивалов М.А. Влияние экстремального загрязнения ионами меди на рост семенного потомства <i>Typha latifolia</i> L.	201

ПРЕДИСЛОВИЕ

Климатические вызовы сегодняшнего дня требуют всесторонней оценки и комплексных подходов к формированию ответов на них. Флуктуации климата и погоды во многом связывают с ростом содержания парниковых газов в атмосфере Земли, например, углекислого газа. Усилия биологов растений, экологов, специалистов в области лесного дела, почвоведов, а также ученых смежных наук направлены на понимание источников эмиссии этого газа и процессов его секвестрации.

Единственным компонентом биосферы, позволяющим связывать CO₂, являются фотоавтотрофные организмы, прежде всего, растения. Именно они осуществляют процесс фотосинтеза, в ходе которого углекислый газ включается в органические вещества, обеспечивающие рост и развитие растений и формирование первичной биологической продуктивности в экосистемах. В меняющихся условиях особое значение приобретают адаптивные реакции растений, позволяющие им успешно осуществлять все функции. Изучение механизмов, лежащих в основе жизнедеятельности растений, позволит не только понять наблюдаемые эффекты, спрогнозировать сценарии изменения растительности, но и разработать технологии повышения эффективности секвестрации углерода растениями *in situ* и *in vitro*.

В настоящем сборнике представлены тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Экспериментальная биология растений и климатические вызовы», проводимой в рамках годового собрания Общества физиологов растений России.

Организаторами конференции являются Министерство науки и высшего образования РФ, Российская академия наук, Общество физиологов растений России, Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Институт естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

Киселева И.С., к.б.н.

Сопредседатель Программного комитета,
Зав. кафедрой экспериментальной биологии и биотехнологий,
Институт естественных наук и математики,
Уральский федеральный университет

Пленарные доклады

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON NATURAL ASSETS**Oktan E.^{1*}, Atar N.²**¹Karadeniz Technical University, Forestry Faculty, Trabzon, Turkey²Artvin Çoruh University, Forestry Faculty, Artvin, Turkey**E-mail: oktan@ktu.edu.tr***Key words:** climate change, natural assets, sustainability, adaptation and mitigation

Climate change is one of the most important environmental problems of today, affecting the structure, functions, composition of ecosystems and the geographical distribution of species. In addition, it affects the health and productivity of all living things in the ecosystem and can change its ecological structure. In order to operate natural assets in a sustainable manner, it has become important to investigate the effects of climate change on natural assets. Thus, by ensuring the sustainability of natural assets, basic data can be created for climate change adaptation and mitigation studies.

As in the world, there are many natural riches in Turkey that are protected and need to be protected, with both cultural and scientific values being quite high. In this context, Turkey's Eastern Black Sea Region creates a unique ecosystem containing many natural assets. In the studies carried out so far, approximately 225 natural assets have been identified only for this region and it has been revealed that 74 of these natural assets have not been registered before. These natural assets include national parks, nature parks, natural monument, nature conservation areas, wildlife development areas, natural old forests, monumental trees, conservation forests, monumental stands, biosphere reserve areas, genetic conservation forests and seed stands. However, this determination made for natural assets only refers to the mechanical recording of studies regarding the vitality of natural assets. These natural assets sometimes play an important role in monitoring the effects of climate change and sometimes in combating climate change (adaptation and mitigation). Their role in maintaining high biodiversity and genetic resources and maintaining many ecosystem services also increases the importance of these assets. However, the fact that natural assets are faced with rapid climate change which are felt even more today and many simultaneous negativities, causes these assets to face many negative effects such as changes in their numbers, areas and qualities. For this reason, it is necessary to investigate these effects and implement practices as soon as possible for the sustainability of life in nature. Maintaining the balance in nature and thus the sustainability of human societies can be achieved by protecting natural assets and benefiting from them in a sustainable way. In this context, in the climate crisis occurring on a global scale; the importance of natural assets and the requirements of investigating the impact of climate change on natural assets are explained.

**МОНИТОРИНГОВАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОД-
СЕКВЕСТРИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНОЙ ЗОНЫ ВДОЛЬ
ШИРОТНОЙ ТРАНСЕКТЫ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ**

Воронин П.Ю.

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

**E-mail: pavel@ippras.ru*

Ключевые слова: леса, мониторинг, Северная Евразия, фотосинтез

Статистический анализ многолетних временных рядов атмосферной концентрации CO₂ вдоль широтной полосы (43°07'–55°45' с.ш.) трансконтинентальной трансекты от Москвы (55°45' с.ш. 37°34' в.д.) до Владивостока (43°07' с.ш. 135°54' в.д.) подтвердил наличие сезонного атмосферного минимума CO₂ в первой половине вегетации. Однако время достижения этого трансконтинентального евразийского минимума атмосферного CO₂ примерно на месяц опережало соответствующий региональный минимум в лесах Восточной Сибири (Якутск, 62°05' с.ш.). Сделан вывод, что сезонный минимум атмосферной концентрации CO₂ является сезонным сигналом фотосинтеза лесных региональных экосистем, а смещение этого сигнала во времени может быть использовано в качестве показателя изменения регионального биогенного цикла углерода при изменении климата.

**MONITORING ASSESSMENT OF A POSSIBLE REDUCTION IN THE CARBON-
SEQUESTERING CAPACITY OF THE FOREST GROWTH ZONE ALONG THE
LATITUDE TRANSECT OF NORTHERN EURASIA**

Voronin P. Yu.

K.A. Timiriazev Plant Physiology Institute of RAS, Moscow, Russia

Key words: forests, monitoring, Northern Eurasia, photosynthesis

КОМПЛЕКС МЕТОДОВ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕХОДА ОТ РАСПРЕДЕЛЕННОГО К АКЦЕНТИРОВАННОМУ СКЕЛЕТУ В ХОДЕ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

Горшкова Т.А. *, Петрова А.А., Суслов М.А., Горшков О.В., Чернова Т.Е.

Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение ФИЦ
Казанский научный центр РАН, Казань, Россия

*E-mail: gorshkova@ibb.knc.ru

Ключевые слова: биомеханика, клеточная стенка, иммуноцитохимия, ЯМР, транскриптомика

На ранних этапах развития растений, в молодых органах, а также в эволюционно-ранних таксонах наземных растений, механическая стабильность организма поддерживается за счёт так называемого гидростатического механизма, который основан на создании в каждой клетке давления и противостояния ему клеточной стенки. Такой тип «скелета» называется распределённым. Участки растения, поддерживаемые по гидростатическому механизму, состоят из нежных, высокооводненных тканей, легко механически повреждаемых и слабо устойчивых к воздействию многих неблагоприятных факторов. В ходе дальнейшего развития большинства растений основную механическую нагрузку берут на себя специализированные ткани, такие как волокна и вторичная ксилема с мощно развитой клеточной стенкой. Отложение утолщённых клеточных стенок в специализированных тканях, то есть формирование акцентированного типа скелета, качественно изменяет параметры механических свойств тканей, транспорта воды и других веществ, реакции на различные факторы среды, устойчивости к полеганию и т.д. Резко изменяется и база для формирования механических сигналов, поскольку утолщённые стенки имеют совершенно иные модули упругости, что может предполагать смену «воспринимающих устройств» для оценки состояния системы и передачи сигнала. Следовательно, переход от распределённого к акцентированному скелету – важнейший этап в развитии растений. При этом он крайне слабо охарактеризован. Как «принимается решение» об инициации формирования утолщённых стенок? Что служит индуцирующими факторами? Каковы механизмы перехода и его регуляции? Как изменяются параметры транспорта воды между клетками и за счёт каких механизмов это происходит? Для поиска ответов на эти вопросы нами разработан комплекс методов, позволяющих характеризовать распределённый и акцентированный скелеты и процесс перехода от одного к другому. Этот комплекс включает детальный анализ анатомии с использованием гистохимии и иммуноцитохимии, макромеханических (метод вибраций и трехточечный тест) и наномеханических (атомно-силовая микроскопия) параметров, ЯМР-диффузии, транскриптомов в различных зонах стебля, конструирование оригинальных установок. Логика выбора подходов и полученные результаты будут освещены в докладе.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 24-14-00383).

A COMPLEX OF METHODS TO CHARACTERE THE TRANSITION FROM A DISTRIBUTED TO ACCENTIFIED SKELETON DURING PLANT DEVELOPMENT

Gorshkova T.A., Petrova A.A., Suslov M.A., Gorshkov O.V., Chernova T.E.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics of the Federal Research Center
«Kazan Scientific Center of Russian Academy of Sciences», Kazan, Russia

Key words: biomechanics, cell wall, immunocytochemistry, NMR, transcriptomics

ОТВЕТ РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ НА СОЛЕВОЙ СТРЕСС: ОТ КАЛЬЦИЕВОГО СИГНАЛА ДО ИОННОГО ДИСБАЛАНСА

Демидчик В.В.

Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь
E-mail: vadzimdziamidchyk@gmail.com

Ключевые слова: стресс, засоление, клеточная сигнализация, ионный дисбаланс, ионные каналы

Засоление почв и связанное с этим отчуждение сельскохозяйственных земель является одной из важнейших проблем человечества. Около трети обрабатываемых сельскохозяйственных земель на сегодняшний день засолены в различной степени; примерно 1% пахотной земли становится непригодным для выращивания растений ежегодно. Засоление характерно для засушливых и теплых регионов с низким уровнем осадков, что способствует накоплению высоких уровней NaCl в почвенных водах. В то же время засоление почв также является проблемой больших мегаполисов в зонах умеренного и холодного климата, где NaCl попадает в огромных количествах в почву при антигололедных обработках и сбросах загрязненных городских отходов. К настоящему времени проблема засоления не решена, не разработано путей снижения токсичности высоких уровней NaCl для гликофитов (т.е. для растений, не обладающих толерантностью к высоким уровням NaCl в почве), не понятны механизмы, определяющие угнетение физиологических процессов растительной клетки и ее гибель под действием высоких уровней Na⁺ и Cl⁻. Ключом к решению проблемы является глубокое понимание механизмов ответа растения на NaCl, транспорта Na⁺ и Cl⁻ через клеточные мембраны, детоксикации Na⁺ и Cl⁻, расшифровка сигнальных процессов, лежащих в основе реакций на NaCl. Фокус нашей работы направлен на расшифровку основных механизмов поступления и перераспределения Na⁺ и Cl⁻ в растительной клетке, связанных с этим потоков и изменением уровней других важнейших ионов, индукции кальциевых, калиевых и редокс-сигналов, кодирующих клеточный ответ на засоление. В докладе представлены как собственные данные о механизмах транспортных, сигнальных и стрессовых явлений при ответе растительной клетки на высокие уровни NaCl, так и современные мировые концепции, касающиеся проблемы токсичности Na⁺ и Cl⁻ для растительных систем.

PLANT CELL RESPONSE TO SALT STRESS: FROM CALCIUM SIGNAL TO IONIC IMBALANCE

Demidchik V.V.

V.F. Kuprevich Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Key words: stress, salinity, cell signaling, ion imbalance, ion channels

КЛЮЧЕВЫЕ ТРАНСКРИПЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ И ИХ МИШЕНИ В РЕГУЛЯЦИИ БЫСТРОГО ВЕТВЛЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ

Демченко К.Н. *, Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: demchenko@binran.ru

Ключевые слова: корень, инициация бокового корня, меристемы, транскрипционные факторы

Корни выступают в качестве посредников между побеговой частью и биотическими и абиотическими факторами почвенной среды. Способность корня приспосабливаться к изменению влажности почвы и количества питательных веществ в ней предоставляет возможность для изучения природной пластичности корня и выяснения тех его особенностей, которые могут повысить урожайность растений в рамках сельскохозяйственного производства. В данном докладе представлено детальное сравнительное изучение генетических механизмов реализации ауксинового сигналинга через транскрипционные факторы в ходе быстрого ветвления корневой системы у огурца и кабачка, характеризующихся, как и все представители семейства Тыквенные, ранней закладкой примордиев боковых корней в эмбриогенезе и формированием примордиев непосредственно в меристеме родительского корня в окружении активно размножающихся клеток.

Белки транскрипционных факторов связываются с ДНК и изменяют характер транскрипции генов и экспрессии белков. Они могут усиливать транскрипцию генов, что приводит к увеличению уровня мРНК и, в конечном счете, к повышению экспрессии белка. С другой стороны, они могут выступать в роли репрессоров и подавлять транскрипцию генов, снижая тем самым выработку определенного белка.

В геномах кабачка и огурца нами были идентифицированы ортологи генов *Arabidopsis thaliana* *LBD16* и *LBD18* у кабачка и огурца. Проведена сравнительная локализация активности промоторов: генов *LBD16* и *LBD18* *Arabidopsis* в корнях огурца и кабачка; а также гена *LBD16a* кабачка и генов *LBD16*, *LBD18a* и *LBD18b* огурца в кончиках корней соответствующих видов. Сравнительный анализ паттернов экспрессии генов LBD в кончиках корней кабачка и огурца выявил принципиально иной характер регуляции промоторов ортологов генов *LBD16* и *LBD18* у этих видов. Для подавления экспрессии генных мишеней белков LBD огурца была получена серия векторов с репрессорным доменом SRDX (SUPERMAN REPRESSION DOMAIN X). Функциональный анализ *CsLBD16* и *CsLBD18a(LBD30)* с использованием технологии химерных репрессоров (SRDX) также показал, что транскрипционные факторы, кодируемые данными генами, не принимают участия на начальных этапах развития примордиев боковых корней. Так регуляторные элементы промотора гена *LBD16* *Arabidopsis* запускают экспрессию репортера в корне огурца/кабачка, однако, собственные промоторы этого гена в огурце/кабачке лишены способности активироваться в этих же условиях. Эти данные показывают принципиальные различия в путях эволюции промоторных областей *LBD16/18* у видов, различающихся по положению зоны инициации бокового корня. Таким образом, сигнальный модуль AUXIN RESPONSE FACTOR (ARF)7/ARF19-LATERAL ORGAN BOUNDARIES DOMAIN (LBD)16/LBD18 через AUXIN1 (AUX1)/LIKE-AUXIN3 (LAX3) в при инициации примордия в меристеме родительского корня работает иначе.

KEY TRANSCRIPTION FACTORS AND THEIR TARGETS IN THE REGULATION OF RAPID ROOT BRANCHING

Demchenko K.N., Kiryushkin A.S., Ilina E.L.

Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Key words: root, lateral root initiation, meristems, transcription factors

НЕКАНОНИЧЕСКИЕ И КАНОНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИТОГЕНОМОВ РАСТЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В БИОТЕХНОЛОГИИ

Константинов Ю.М.^{1,2*}, Горбенко И.В.¹, Зверинцева К.М.²

¹Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

*E-mail: yukon@sifibr.irk.ru

Ключевые слова: манипулирование мтДНК, митогеном, митохондрии, плазмиды

Особенностями митогеномов высших растений является их необычно большая длина и значительные вариации в размерах даже у близкородственных видов, что обусловлено различиями в длине и количестве некодирующих областей и латеральным переносом генов из ядра и хлоропластов. Важным отличием является также высокая динамичность митогеномов, вызванная наличием различной длины повторов, с участием которых происходят перестройки путем гомологичной рекомбинации. Высокая рекомбинационная активность приводит к тому, что порядок митохондриальных генов сильно варьирует даже на внутривидовом уровне. Митогеномы многих видов растений содержат наборы кольцевых и линейных плазмид, для последних характерно наличие терминальных инвертированных повторов (ТИП), ковалентно связанных с терминальными белками, участвующими в инициации репликации ДНК на 5' концах. Митохондрии кукурузы (*Zea mays*) содержат линейные плазмиды S1, S2 и S3, причем ТИП S1 и S2 идентичны. Несмотря на то, что митогеномы многих видов растений были полностью секвенированы достаточно давно, отсутствие надежных инструментов манипулирования митохондриальной ДНК (мтДНК) создает серьезные препятствия для (i) всестороннего исследования важных в биологическом или сельскохозяйственном отношении генов, функции которых до последнего времени остаются неизвестными, (ii) развития методов и подходов для использования митохондрий в качестве продуцентов рекомбинантных белков и в сельскохозяйственной биотехнологии. Решению этих чрезвычайно важных в фундаментальном и прикладном отношении задач может способствовать наряду с новыми методами геномного редактирования более широкое использование в исследовательской практике явления природной компетентности митохондрий к поглощению (импорту) ДНК. Феномен импорта ДНК в растительные митохондрии, продемонстрированный нами как в условиях *in organello*, так и *in vivo*, может использоваться для решения проблемы направленной доставки и экспрессии генетических конструкций в этих органеллах. Так, установлено, что импортируемые в митохондрии гены транскрибируются и могут быть интегрированы в митогеном в случае наличия у них фланков длиной 500 п.н., гомологичных резидентной мтДНК. Для конструирования митохондриальных генетических векторов перспективными кандидатами являются линейные плазмиды S1, S2 и S3 *Zea mays*. Наличие ТИП на концах плазмид обеспечивает их более активный импорт в митохондрии по сравнению с лишенной ТИП ДНК. Методами биоинформатики показано, что полноразмерные инсерции митохондриальных плазмид обнаруживаются как в митохондриальном, так и ядерном геномах. Инсерции могут защищаться от сайленсинга путем встраивания в интроны генов аппарата метилирования ДНК.

NON-CANONICAL AND CANONICAL PROPERTIES OF PLANT MITOGENOMES AND PROSPECTS FOR THEIR USE IN BIOTECHNOLOGY

Konstantinov Yu.M.^{1,2}, Gorbenko I.V.¹, Zverintseva K.M.²

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Key words: mtDNA manipulation, mitogenome, mitochondria, plasmids

МОГУТ ЛИ РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ РОССИИ ПРЕТЕНДОВАТЬ НА НАЦИОНАЛЬНОГО ДОНОРА УГЛЕРОДНЫХ ЕДИНИЦ?

Максимов Т.Х.^{1*}, Долман Х.², Ота Т.³

¹ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

²Нидерландский Королевский институт морских исследований, Амстердам, Нидерланды

³Институт Нагоя, Нагоя, Япония

*E-mail: tcmax@mail.ru

Ключевые слова: изменение климата, лес, тундра, углеродный обмен

Углеродный баланс России играет важную роль в глобальном цикле углерода, в первую очередь из-за его больших площадей лесов, торфяных и водно-болотных угодий, где депонированы огромные запасы углерода в почве. Тундра и водно-болотные угодья составляют около 25% от общего объема, 49% территории России покрыто лесом, а сельское хозяйство и пастбища составляют оставшиеся 26%.

Нами показано, что в первой декаде 21 века вся территория Российской Федерации была значительным стоком углерода, оцениваемым в 0,7 млрд т С год⁻¹, из них 90–95% приходится на лесные экосистемы. В лесах криолитозоны заметно преобладает сток углерода, по сравнению с пятью исследованными биотомами России (леса, тундры, болота, луга, пастбища). Здесь он больше, чем в лугах и тундрах России в среднем в 1,5 и 4,5 раза, соответственно. Отмечается большая межгодовая вариация чистого газообмена мерзлотных лесных экосистем, которая составляет 1,7–2,4 т С га⁻¹ год⁻¹, что выводит на верхний предел годовой депонирующей емкости в 450–617 млн. т С год⁻¹. Чистая биомная продуктивность лиственных лесов Сибири оценена в пределах 0,26–0,86 млрд т С год⁻¹.

Нами составлены схематические модели годового бюджета углерода репрезентативных экосистем криолитозоны, которые свидетельствуют в пользу возрастающего дефицита влаги в условиях потепления мерзлотных почв и расхода запасенной в них влаги. Учитывая значительное уменьшение аккумуляции углекислоты в засушливые и увлажненные годы, повышенную частоту лесных пожаров и площади увеличения перестойных лесов можно с большой уверенностью говорить о существенном изменении баланса в круговороте углерода и воды в мерзлотных экосистемах при прогнозируемом потеплении климата.

При управляемом и правильном землепользовании территории Республика Саха (Якутия) может претендовать на роль национального донора углеродных единиц России. Для увеличения поглотительной способности экосистем России и снижения деградации многолетней мерзлоты следует пересмотреть правила по землепользованию, разработать новые сельскохозяйственные, лесотехнические и лесовосстановительные технологии на базе современных научных достижений по физиологии растений.

CAN REPRESENTATIVE ECOSYSTEMS OF RUSSIA QUALIFY TO A NATIONAL DONOR OF CARBON UNITS?

Maximov Trofim¹, Dolman Han², Ohta Takeshi³

¹Federal Research Centre “Yakut Scientific Centre of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences”,

²NIOZ, the Royal Netherlands Institute for Sea Research,

³Nagoya University, Nagoya, Japan

Key words: climate change, forest, tundra, carbon exchange

МИГРАЦИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЮЖНОЕ ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ БОЛГАРИИ

Ташев А.Н.* , Ташев Н.А.

Лесотехнический университет, София, Болгария

*E-mail: altashev@mail.ru

Ключевые слова: чужеродные древесные виды, изменение климата, натурализация, южное побережье Черного моря (Болгария)

В последние годы в различных местообитаниях флористического субрегиона южного Причерноморья (Болгария) начался естественный процесс размножения некоторых экзотических, а также нехарактерных для района видов древесных растений. Большинство этих растений раньше были известны только как декоративные и выращивались в парках и ботанических садах, в частных садах и дворах, а также в составе лесных насаждений. Естественное размножение и распространение этих видов прежде в изучаемом флористическом субрегионе Болгарии не наблюдалось. Помимо ранее широко распространенных в субрегионе чужеземных экзотических и инвазионных видов, таких как *Robinia pseudoacacia*, *Gleditsia triacanthos*, *Amorpha fruticosa*, *Acer negundo*, *Ailanthus altissima*, *Morus alba*, *Spartium junceum* и *Ficus carica*, отмечено распространение и натурализация других видов в результате изменения климата. Считалось, что эти виды не способны к размножению в климатических условиях южного Причерноморья. В эту группу видов входят *Pinus pinaster*, *P. brutia*, *Quercus rubra*, *Fraxinus americana*, *F. pennsylvanica*, *Platanus orientalis*, *Laburnum anagyroides*, *Partenocissus quinquefolia*, *Catalpa bignonioides*, *C. ovata* и даже некоторые более редкие виды, такие как *Laurus nobilis*, *Eucommia ulmoides* и *Ptelea trifoliata*. Отмечено также, что в последние годы, растущая во дворах местных жителей *Olea europaea* (олива европейская) перестала страдать от зимних холодов и стала успешно плодоносить.

Некоторые из этих видов со временем и при определенных условиях могут стать инвазивными. По каждому вновь обнаруженному виду во флористическом подрегионе приводятся данные о местонахождении: название местонахождения, географические координаты и высота над уровнем моря, уклон и экспозиция местности, флористический состав фитоценоза, где обнаружен локалитет, дата сбора гербарного материала и количество гербарных листов в гербарии, куда депонируются материалы. Появление и миграция этой группы зарубежных древесных растений связаны с наблюдаемыми в последние годы изменениями климата, такими как повышение температуры и смягчение климата в зимний период, что приводит к свободному размножению вышеупомянутых древесных видов. Предлагается осуществлять мониторинг установленных местонахождений чужеродных видов, поскольку не исключено, что некоторые из них могут стать инвазивными для флоры Болгарии.

CLIMATE CHANGES AND TREE MIGRATION IN FLORISTIC SUBREGION SOUTH BLACK SEA COAST (BULGARIA)

Tashev A.N., Tashev N.A.

University of Forestry, Sofia, Bulgaria

Key words: alien tree plants, climate change, naturalization, South Black Sea Coast (Bulgaria)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОПУЛЯЦИИ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ ВБЛИЗИ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА ЕЁ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА ПОЛЯРНОМ УРАЛЕ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

**Фомин В.В.^{1,2*}, Михайлович А.П.^{1,2}, Агапитов Е.М.^{1,2}, Голиков Д.Ю.³,
Рогачев В.Е.^{1,2}, Костоусова Е.А.¹, Переходова Е.С.¹, Коритняк Е.М.¹**

¹Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

³Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: fominvv@m.usfeu.ru

Ключевые слова: верхний предел, климатогенная динамика, лиственница сибирская

Древесная растительность вблизи верхнего предела ее произрастания является чувствительным индикатором регионального изменения климата. В районе исследований на Полярном Урале были созданы статистические модели, позволяющие получить вероятностные оценки отнесения деревьев лиственницы сибирской к одному из трех возрастных интервалов (1–10; 11–40 и свыше 40 лет) по величине их максимальной горизонтальной проекции кроны с использованием распределения Вейбулла. На основе результатов дешифрирования аэроснимков, полученных при помощи беспилотного летательного аппарата с высоты 50 метров, составлена карта распределения экземпляров лиственницы с диаметром кроны свыше 20 см. Общее количество экземпляров данного вида составило 88608 штук. Их распределение по возрастным интервалам (в порядке их следования, приведенного выше) следующее: 16980, 51740 и 19889 штук. Полученные данные свидетельствуют о том, что в последние несколько десятилетий наблюдается два процесса: экспансия лиственницы в горную тундру и интенсивное появление деревьев внутри участков леса, редколесий или рединов, еще не занятых древесной растительностью. Современный процесс экспансии лиственницы на необлесенные участки склона исследуемой территории в XX – начале XXI веках сменил процесс постепенной гибели деревьев, который происходил в ходе Малого ледникового периода с конца XII до конца XIX веков. На основе данных наземных измерений на 9 круговых пробных площадях биометрических параметров экземпляров лиственницы построена модель искусственной нейронной сети, состоящая из двух слоев с количеством нейронов 3 и 2 соответственно. Она позволяет количественно оценить возраст экземпляра лиственницы по высоте и максимальной проекции кроны дерева. Предлагаемый подход может найти применение для оценки возраста лиственницы сибирской вблизи верхнего предела ее произрастания на горных массивах в других регионах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 24-24-00235).

SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF THE SIBERIAN LARCH POPULATION CLOSE TO THE UPPER LIMIT OF ITS GROWTH IN THE POLAR URALS DUE TO MODERN CLIMATE CHANGE

**Fomin V.V.^{1,2}, Mikhailovich A.P.^{1,2}, Agapitov E.M.^{1,2}, Golikov D.Yu.³,
Rogachev V.E.^{1,2}, Kostousova E.A.¹, Perekhodova E.S.¹, Koritnyak E.B.¹**

¹Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

³Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Key words: upper limit, climatogenic dynamics, *Siberian larch*

РОЛЬ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА В РАЗВИТИИ СИМБИОТИЧЕСКИХ КЛУБЕНЬКОВ БОБОВЫХ

Цыганов В.Е.*, Китаева А.Б., Кусакин П.Г.,
Горшков А.П., Киричек Е.А., Цыганова А.В.

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: vetsyganov@arriam.ru

Ключевые слова: симбиотический клубенек, тубулиновый цитоскелет, симбиосома, бактериод, инфекционная нить

До недавнего времени динамика тубулинового цитоскелета на поздних стадиях развития и функционирования симбиотических клубеньков была мало изучена. Нами был проведен сравнительный анализ организации тубулинового цитоскелета у шести видов Бобовых, формирующих недетерминированные клубеньки (с продолжительной активностью меристемы) и восьми видов с детерминированными клубеньками (с ограниченной активностью меристемы). В результате были выявлены как общие, так и видоспецифические паттерны микроотрубочек.

К общим паттернам следует отнести нерегулярный паттерн (микроотрубочки перекрещивались под разными углами) кортикальных микроотрубочек в меристематических клетках, ассоциацию эндоплазматических микроотрубочек с инфекционными нитями и инфекционными каплями в молодых инфицированных клетках. При формировании сети эндоплазматических микроотрубочек среди симбиосом в азотфиксирующих клетках в недетерминированных клубеньках наблюдались различные паттерны их организации, что связано с выраженными различиями в морфологии бактериодов, наблюдаемыми между видами Бобовых. В то же время в детерминированных клубеньках был выявлен только нерегулярный паттерн эндоплазматических микроотрубочек.

В неинфицированных клетках кортикальные микроотрубочки формировали нерегулярный паттерн в клубеньках *Glycine max* и *G. soja*, тогда как для остальных видов как с детерминированными, так и с недетерминированными клубеньками был характерен регулярный паттерн (микроотрубочки были ориентированы поперечно продольной оси клетки). В недетерминированных клубеньках в инфицированных клетках кортикальные микроотрубочки формировали нерегулярный паттерн, а в зрелых клетках, детерминированных – регулярный. Выявленные различия в организации кортикальных микроотрубочек в различных типах клубеньков могут указывать на возможный эволюционный переход инфицированных клеток от анизотропного роста в детерминированных клубеньках к изотропному росту в недетерминированных клубеньках, который обеспечил некоторое эволюционное преимущество видам Бобовых с недетерминированными клубеньками, например, позволяя им более эффективно размещать симбиосомы в инфицированных клетках.

Работа поддержана грантом РФФ 24-16-00156.

THE ROLE OF TUBULIN CYTOSKELETON IN THE DEVELOPMENT OF SYMBIOTIC NODULES OF LEGUMES

Tsyganov V.E., Kitaeva A.B., Kusakin P.G.,
Gorshkov A.P., Kirichek E.A., Tsyganova A.V.

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

Key words: symbiotic nodule, tubulin cytoskeleton, symbiosome, bacteroid, infection thread

Секция 1
«Фотосинтез и секвестрация
углерода растениями: молекулярные
и экосистемные механизмы»

EXPLORING OF THE PLASTOQUINONE POOL ACCUMULATION IN FIELD-GROWN LOW TEMPERATURE-STRESSED *EPHEDRA MONOSPERMA***Sofronova V.E.**Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia*E-mail: vse07_53@mail.ru***Key words:** plastoquinone, plastoquinol, JIP test

The plastoquinone (PQ) pool carries electrons in the linear and alternative electron transport such as the chlororespiratory pathway and cyclic electron flows around PSI and PSII. The PQ pool is also capable of scavenging ROS produced during photosynthesis and mitigates lipid peroxidation. The fraction (up to 50%) of the PQ pool located in the plastoglobules (PGs) is photochemically nonactive. The study was aimed at characterizing the changes in content of PQ/PQH₂ in response to low-temperature stress during the autumn-winter period in ephedra plants, overwintering under snow cover in Central Yakutia.

The shortening of the photoperiod and the seasonal decrease in temperature from 7.4 to –1.5°C during September induced a 2.5-fold increase in PQH₂ (from 21 to 52 nM/g DW), while the content of PQ increased by 1.4 times (from 65 to 91 nM/g DW) compared to July. To examine whether the increase in the PQ content is related to the photochemically active PQ pool or to the photochemically non-active PQ pool, which is mainly localized in PGs, we assessed the seasonal dynamic of photochemically active PQ fraction using the OJIP (fast chlorophyll *a* fluorescence kinetics) curves. The highest amplitude of the JIP transition was observed from July to early September, and then it decreased steadily from late September to October. This is corroborated by the electron transport-related parameters ψ_{E_0} , ϕ_{E_0} , which decreased significantly from September 9 until October 3. The parameter RC/ABS (density of active reaction centers per PSII antenna Chl), dropped dramatically at the end of September and beginning of October, when temperatures dropped from 4 to –1.5°C. In addition, the decrease in total chlorophyll (Chl) content from 3.43 to 2.13 mg/g DW) can be attributed to the decay of antenna Chl-binding proteins and the dismantling of photosynthetic machinery. Eventually, a steady decrease in the size of the photoactive PQ pool occurs caused by a reduction in the number of active PSII complexes. Obviously, the observed increase in the amounts of PQH₂/PQ during cold hardening of ephedra plants occurs due to the accumulation of the photochemically inactive PQ_{tot} (oxidized and reduced) pool outside the thylakoid membranes, namely in the PGs. A more pronounced increase in PQH₂ is due to the fact that the primary biosynthetic form of PQ is PQH₂.

Although PQH₂/PQ were prone to oxidation at –3.2 to –7.4°C before the establishment of snow cover in late autumn, the content of PQ_{tot} in the winter months was 1.5 times higher than in July. During the period of resumption of the ephedra photosynthesis at the end of May, a consumption of the photoactive PQ pool may take place due to oxidative stress at early stages of the photosynthetic apparatus reassembly. The maintenance and progressive increase in PQ content in the thylakoid membranes would depend on their mobilization from the non-photoactive PQ pool stored in PGs.

The author expresses gratitude to Prof. Kazimierz Strzalka, Dr. Beatrycze Nowicka (Jagiellonian University, Poland) for HPLC analysis of isoprenoid quinones.

The study was financially supported by the state assignment for IBPC SB RAS, No. AAAA-A21-121012190034-2.

РОЛЬ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ И КОМПОНЕНТОВ СВЕТОВОГО СИГНАЛИНГА В АДАПТАЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА К ПОВЫШЕННЫМ ДОЗАМ UV-B

Абрамова А.А.^{1*}, Верещагин М.В.¹, Креславский В.Д.², Пашковский П.П.¹

¹Институт физиологии растений им К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

²Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, МО, Россия

*E-mail: ann.kiedis2000@gmail.com

Ключевые слова: экспрессия генов, фитохромы, криптохромы, метаболизм

Важным регулятором устойчивости фотосинтетического аппарата (ФА) к UV-B излучению является криптохром 1 (*CRY1*). Однако, важные компоненты светового сигналинга при воздействии UV-B изучены недостаточно полно. Вместе с этим, эта тематика имеет прикладное значение, так как дополнительные дозы UV-B являются мощным механизмом управления метаболизмом растений и изменением биохимической характеристики продукции.

Для определения ключевых компонентов светового сигналинга, вовлеченных в устойчивость ФА, были изучены мутанты *A. thaliana* *bic1,2*, *hy5*, *cry1*, *hyl* и *spa*. *HY1* участвует в биосинтезе фитохромобилина, необходимого для функционирования фитохромов (PHY), ослабляя светозависимые ответы на красный и дальний красный свет. *CRY1* реагирует на синий и UV-A свет, изменяя конформацию и взаимодействуя с *COP1*. *HY5* является важным фактором транскрипции, модулирующим экспрессию генов, ответственных за светозависимые процессы. *BIC1* и *BIC2* ингибируют активность *CRY*. *SPA*-белки взаимодействуют с *COP1*, регулируя деградацию световых рецепторов и транскрипционных факторов в темноте. При свете PHY и *CRY* ингибируют комплекс *SPA-COP1*, что ведет к накоплению *HY5* и активации светозависимых генов.

Мутант *hy5* демонстрировал контрастные результаты показателя Y(II), превышая значения дикого типа (ДТ) через 48 часов. У *bic1,2* наблюдались высокие показатели NPQ. Через 24 часа скорость фотосинтеза у ДТ сохранялась, а у мутанта *bic1,2* через 48 часов превосходила другие варианты. Фотосинтетическая активность *hy5* была практически на нуле, что указывает на его важную роль в адаптации растений к UV-B.

Мутация *HY5* приводят к нарушениям фотосинтеза и светового сигналинга. В то же время мутанты *bic1,2* демонстрируют повышенную устойчивость к UV-B за счет усиления *CRY*-контролируемых процессов. Мы предполагаем, что PHY и *CRY* способствуют инактивации *UVR8*, повышая экспрессию *RUP1* и *RUP2*, стабилизируя *HY5* и способствуя экспрессии генов, обеспечивающих устойчивость к UV-B. Усиление активности *CRY* приводит к повышенной устойчивости ФА у мутантов *BIC1,2*.

Исследование флуоресцентных параметров фотосинтеза выполнено при поддержке гранта РФФИ (проект № 23-14-00266).

THE ROLE OF PHOTORECEPTORS AND LIGHT SIGNALING COMPONENTS IN THE ADAPTATION OF PHOTOSYNTHETIC APPARATUS TO INCREASED DOSES OF UV-B

Abramova A.A.¹, Vereschagin M.V.¹, Kreslavski V.D.², Pashkovskiy P.P.¹

¹K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

²Institute of Fundamental Problems of Biology RAS, Pushchino, MO, Russia

Key words: gene expression, phytochromes, cryptochromes, metabolism

**ПЕРЕСТРОЙКИ УГЛЕВОДНОГО И ФЕНОЛЬНОГО ОБМЕНОВ ПРИ
ФОРМИРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В РАЗНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ:
БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ**

**Галибина Н.А. *, Никерова К.М., Мощенская Ю.Л., Тарелкина Т.В.,
Корженевский М.А., Серкова А.А., Афошин Н.В.**

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: 181102@mail.ru

Ключевые слова: ядровая и заболонная древесина, экстрактивные вещества, экспрессия генов, климатические факторы, недооценка содержания углерода в древесине

Распределение и длительное депонирование углерода (C) в надземной древесной биомассе относится к основным его пулам в лесных экосистемах. Как правило, при пересчете стволовой фитомассы в запасы C, используют коэффициент 0,5, допуская, что массовое содержание C в древесине составляет 50%. В последнее время все больше появляется работ, показывающих значительные (до 8%) отклонения в этом показателе. Впервые для бореальных лесов Северо-Запада России в градиенте климатических и лесорастительных условий у сосны обыкновенной изучены особенности накопления экстрактивных веществ в ядровой древесине (HW). Показано, что независимо от условий произрастания, содержание экстрактивных веществ в HW существенно превышает таковое в заболонной древесине (SW).

В докладе обсуждаются метаболические перестройки основных обменных процессов в тканях ствола по радиальному вектору «проводящая флоэма, камбиальная зона – ксилема на разных стадиях дифференцировки – SW – транзитная зона – HW» в зависимости от фенологического состояния дерева (камбиальный рост – подготовка к покою – покой). Особое внимание уделено исследованию роли шикиматного пути при локальном снижении /завершении камбиального роста. Исследована активность фенилаланинаммиак-лиазы, которая катализирует превращение конечного продукта шикиматного пути – фенилаланина в транс-коричную кислоту. Последняя через фенилпропаноидный путь служит предшественником большинства фенольных соединений, а также полимера фенольной природы лигнина. Ключевые игроки фенилпропаноидного пути – халконсинтаза, халконизомераза и стильбенсинтаза. Первые два обеспечивают направление, связанное с образованием гидролизуемых и конденсированных танинов, последний – биосинтез основного компонента экстрактивных веществ сосны – пиносильвина. Экспрессия кодирующих их генов обнаружена на всех этапах камбиального роста в SW и транзитной зоне. Показано, что основная масса экстрактивных веществ в транзитной зоне образуется в период камбиального роста, предшествуя ПКС структурных элементов.

Работа выполнена в рамках реализации ВППЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации ...» (123030300031-6).

**THE RESTRUCTURING OF CARBOHYDRATE AND PHENOLIC METABOLISM
DURING WOOD FORMATION IN SCOTS PINE UNDER DIFFERENT FOREST
CONDITIONS: BIOCHEMICAL AND MOLECULAR ASPECTS**

**Galibina N., Nikerova K., Moshchenskaya Yu., Tarelkina T.,
Korzhenevsky M., Serkova A., Afoshin N.**

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Key words: heart- and sapwood, extractives, gene expression, climatic factors, underestimation of wood carbon content

ПОТЕНЦИАЛ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА У БЫСТРОРАСТУЩИХ ТОПОЛЕЙ

Евлаков П.М.* , Гродецкая Т.А.

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия

*E-mail: peter.evlakov@yandex.ru

Ключевые слова: интенсивность фотосинтеза, ассимиляционная поверхность, гибриды и сорта тополей

В условиях возросшей антропогенной нагрузки и изменения содержания углекислого газа в атмосфере возросла актуальность определения фотосинтетических характеристик и отбор наиболее ценных лесных насаждений. Проведена оценка потенциала секвестрации углерода на карбоновом полигоне Воронежской области у перспективных селекционно-ценных форм и гибридов тополей (*Populus L.*) 'Ведуга', 'Э.с.-38', 'ПОК'. В качестве контроля использовался эндемик Воронежской области тополь черный (осокорь). Проведен анализ площади отдельного листа и суммарной ассимиляционной поверхности тополя разных форм и гибридов третьего года жизни с применением портативного лазерного измерителя площади листа CI-202 (CID Bioscience, США). Для определения параметров фотосинтеза и транспирации использовали портативную систему измерения газообмена растений CI-340 (CID Bioscience, США). Показано, что суммарная площадь листьев на 1 растение у тополя сорта 'Э.с.-38' значительно (в 5,6 раз) превышала аналогичный показатель у контрольного варианта. Вторым по данному значению выступал тополь белый 'Ведуга', опережающий контроль в 3,3 раза. Показатели фотосинтетического усвоения углекислоты у исследованных генотипов тополей находились примерно на одном уровне и варьировали от 25,1 у 'ПОК' до 30,7 мкмоль/м² с у осокоря. Тополя осокорь и 'ПОК' показали потенциальный уровень депонирования углекислоты 30,6 и 31,3 т/га, соответственно. Значительное преимущество по высоте (на 33% по сравнению с контролем) и площади листьев определило больший в 4,6 раз показатель поглощения CO₂ у 'Э.с.-38' за один вегетационный период, который составил 138,7 т/га. Для тополя 'Ведуга' этот показатель был в 2,8 раз больше контроля. На основе расчетной оценки углерододепонирующей способности различных генотипов тополя в Воронежской области можно сделать вывод, что сорт 'Э.с.-38' «Воронежский гигант» является непревзойденным лидером с высоким потенциалом ассимиляции углерода и может быть рекомендован для создания плантаций быстрорастущих деревьев. Этот потенциал обеспечивается скоростью роста, определяющей формирование максимальной ассимиляционной поверхности с высокой скоростью усвоения углекислого газа листовой пластинкой.

CARBON SEQUESTRATION POTENTIAL IN FAST-GROWING POPLARS

Evlakov P.M., Grodetzkaya T.A.

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

Key words: intensity of photosynthesis, assimilation surface, hybrids and varieties of poplars

РОЛЬ ЖАСМОНАТОВ В ИЗМЕНЕНИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ АРАБИДОПСИСА ПРИ ДЕЙСТВИИ ЛОКАЛЬНОГО СТИМУЛА

Кузнецова Д.В. *, Ладейнова М.М., Воденеев В.А.

ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: kuznetsova.dar0@gmail.com

Ключевые слова: вариабельный потенциал, жасмонаты, фотосинтез

Факторы среды оказывают влияние на растения, и системный скоординированный ответ на стимулы обеспечивается передачей различных стрессовых сигналов. Предполагается, что электрические сигналы, в частности, вариабельный потенциал (ВП) индуцируют системный фотосинтетический ответ, формирование которого может быть связано со сдвигами в содержании фитогормонов, а именно жасмонатов, так как их биосинтез потенциально также может регулироваться ВП. Таким образом, целью работы явилась оценка возможной роли жасмонатов в системных изменениях фотосинтетической активности (ФА) растений *Arabidopsis thaliana* L. при действии локального стимула.

Объектом работы являлись 8-недельные растения арабидопсиса мутантных линий *lox2* и *jar1-11*, имеющие пониженную продукцию жасмонатов, и растения дикого типа (WT). С помощью макроэлектродной установки проводили регистрацию ВП, индуцированного локальным нагревом. Методом РАМ-флуориметрии оценивали изменения ФА. Оценку изменений транспирации проводили с помощью тепловизионного датчика. Содержание гормонов определяли с помощью жидкостной хроматомасс-спектрометрии.

Показано, что при действии локального стимула происходит распространение ВП, повышение содержания жасмонатов и снижение устьичной проводимости и ФА, причем наибольшая амплитуда ВП и снижения ФА наблюдается в раздражаемом листе. Для листьев с непрямими сосудистыми связями с повреждаемым листом характерна меньшая амплитуда ВП и снижения ФА, чем для листьев с прямыми связями. У растений линий *lox2* и *jar1-11* амплитуда ответа фотосинтеза и транспирации снижается по сравнению с WT, что согласуется с пониженными стимул-индуцированными уровнями жасмонатов.

Таким образом, анализ пространственно-временных динамик электрической и фотосинтетической активности, интенсивности транспирации, а также сдвигов содержания жасмонатов при действии локального стимула показал, что механизмом ВП-индуцированного снижения ФА у растений арабидопсиса, вероятно, является жасмонат-опосредованное подавление транспирации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-74-00169, <https://rscf.ru/project/24-74-00169/>.

THE ROLE OF JASMONATES IN CHANGES IN THE PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF ARABIDOPSIS PLANTS UPON LOCAL STIMULATION

Kuznetsova D.V., Ladeynova M.M., Vodeneev V.A.

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Key words: jasmonates, photosynthesis, variation potential

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СМЕЩЕНИЯ ГОРНО-ЛЕСНОГО ПОЯСА ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ И ДИСТАНЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Маханцева В.А.^{1*}, Дворников Ю.А.^{1,2}, Сушко С.В.¹, Иващенко К.В.¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино, Россия

²Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

*E-mail: victoriamakhtantceva@gmail.com

Ключевые слова: дендрология, заповедник, пастбища, Северо-Западный Кавказ, Landsat

Нами анализировалась граница лесной зоны (мелколиственное криволесье) и субальпийской растительности в условиях Северо-Западного Кавказа. Используются два подхода для оценки скорости смещения границы древесной растительности: дендрохронологический анализ и ретроспективный анализ спутниковых снимков (программа Landsat).

Работы проведены на трех заповедных и трех пастбищных горных склонах северо-восточной экспозиции. Заповедные склоны расположены на территории Кавказского государственного природного биосферного заповедника (бассейн р. Большая Лаба, хребет Юха). В ~40 км от заповедника локализованы пастбищные горные склоны (верховье р. Уруп, хребет Чапаллы).

Отмечены в целом близкие оценки скорости смещения границы леса на луга для заповедных горных склонов: 0,73 и 0,93 м год⁻¹ по данным дендрохронологии и анализа спутниковых снимков, соответственно. Для пастбищных горных склонов такие оценки сильно разнятся – 1,64 и 0,69 м год⁻¹, соответственно. Следует отметить значительную вариацию значений скорости смещения лесной границы для изученных горных склонов – при дендрохронологическом анализе коэффициент вариации составил 15–146%, при анализе спутниковых снимков – 61–90%. Таким образом, для более глубокого понимания скорости смещения границ лесного пояса на луга необходимо использовать два предложенных подхода, дополняющих друг друга. Дендрохронологический анализ учитывает миграцию отдельных деревьев на луга, тогда как анализ спутниковых снимков позволяет зафиксировать смещение лесного массива за различные временные периоды.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 22-74-10124.

DETERMINATION OF THE TREELINE MIGRATION RATES IN THE MOUNTAIN-FOREST ZONE BY MEANS OF FIELD AND REMOTE SENSING DATA

Makhtantceva V.A.¹, Dvornikov Y.A.^{1,2}, Sushko S.V.¹, Ivashchenko K.V.¹

¹Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

²RUDN University, Moscow, Russia

Key words: dendrochronology, natural reserve, pasture, North-West Caucasus, Landsat

ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА У ВИДОВ *BETULA* СВЯЗАНО С ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ МЕЗОФИЛЛА ВДОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКОГО ГРАДИЕНТА

Мигалина С.В.^{1*}, Иванова Л.А.², Ронжина Д.А.¹, Иванов Л.А.²

¹Ботанический сад Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия

²Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

*E-mail: Fterry@mail.ru

Ключевые слова: *Betula*, изотопы углерода, климат, мезофилл

Изотопный состав углерода листьев зависит от соотношения концентраций CO₂ в межклеточном пространстве и окружающей лист атмосфере, которое регулируется устьичной активностью и ассимиляционной способностью растений. Поскольку устьичный аппарат и фотосинтез растений контролируются условиями окружающей среды, комплексные исследования изотопного состава и структуры листьев позволяют выявить физиологические механизмы адаптации видов к климату.

Изучалось изменение изотопного состава углерода $\delta^{13}\text{C}/\delta^{12}\text{C}$, параметров устьиц и мезофилла в листьях *Betula pendula* и *Betula pubescens* вдоль протяженной широтной трансекты на Урале и в Западной Сибири. Показано, что у исследованных видов значения $\delta^{13}\text{C}$ уменьшались с юга на север вдоль градиента. У более засухоустойчивой *Betula pendula* отмечены более резкие изменения $\delta^{13}\text{C}$ вдоль трансекты, а также положительная связь $\delta^{13}\text{C}$ со среднегодовой температурой воздуха и отрицательная – со среднегодовым количеством осадков. Это связано с тем, что водный баланс данного вида в большей степени контролируется устьичной активностью по сравнению с более влаголюбивой *Betula pubescens*. Обнаружены значимые корреляции $\delta^{13}\text{C}$ с объемом клеток мезофилла и числом хлоропластов в клетках. У *Betula pendula* $\delta^{13}\text{C}$ также коррелировало с размерами устьиц и долей площади устьиц в листовой поверхности. Изменение поверхностной плотности листа (LMA) вдоль градиента было нелинейным, тогда как толщина листа, объемы клеток мезофилла и число хлоропластов в клетках линейно увеличивались в направлении северных широт. *B. pendula* отличалась в 1,2–1,5 раза меньшими размерами клеток мезофилла и устьиц, и в 1,2–1,5 раза большим их числом на единицу площади листа по сравнению с *B. pubescens*. Изменения размеров и количества устьиц в сторону более высоких значений отмечались только в северной части трансекты, в популяциях берез из северной тайги и лесотундры. Сделан вывод о том, что структура мезофилла, так же, как и устьичный контроль, могут оказывать влияние на фракционирование стабильных изотопов углерода листьев при изменении климатических условий роста.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы Ботанического сада УрО РАН, проект № 123112700111-4.

FRACTIONATION OF LEAF STABLE CARBON ISOTOPES IN *BETULA* SPECIES IS ASSOCIATED WITH CHANGES IN MESOPHYLL PARAMETERS ALONG A CLIMATE GRADIENT

Migalina S.V.¹, Ivanova L.A.^{1,2}, Ronzhina D.A.¹, Ivanov L.A.^{1,2}

¹Institute Botanic Garden, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

²Tyumen State University, Tyumen, Russia

Key words: *Betula*, carbon isotopes, climate, mesophyll

УЧАСТИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ НУКЛЕАЗ В ФОРМИРОВАНИИ ТКАНЕЙ СТВОЛА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Мощенская Ю.Л.* , Галибина Н.А., Корженевский М.А.,
Тарелкина Т.В., Никерова К.М., Семенова Л.И.

Институт леса Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: tselishcheva.yulia@mail.ru

Ключевые слова: программируемая клеточная смерть, нуклеаза, ксилогенез, камбий, ядровая древесина

Способность клетки регулировать деградацию собственной ДНК является общей чертой большинства растительных организмов. В растениях гидролиз ядерной ДНК происходит при различных формах запрограммированной клеточной смерти (ПКС)

В ходе данной работы мы рассмотрели различные варианты ПКС в ходе ксило- и флоэмогенеза у древесных растений, а также в ходе формирования ядровой древесины у сосны обыкновенной. PCD – генетически детерминированный процесс. Профили генов семейств нуклеаз часто рассматривают как маркеры финальной стадии формирования древесины. На основе транскриптомного анализа тканей ствола у древесных растений мы выявили гены растительных нуклеаз участвующих в формировании сосудов и трахеид ксилемы, ситовидных элементов флоэмы, а также изучили изменение профилей экспрессии генов, кодирующих нуклеазы при изменении программы дифференцировки производных камбия.

При помощи ПЦР анализа мы изучили профиль экспрессии генов семейства *BFN* (бифункциональных эндонуклеаз) – *BFN*, *BFN1*, *BFN2*, *BFN3* в радиальном ряду: проводящая флоэма и камбий – дифференцирующаяся ксилема – заболонь – переходная зона в период активного камбиального роста на примере разновозрастных деревьев сосны обыкновенной.

Таким образом, в работе обсуждается участие генов, кодирующих растительные нуклеазы, в регуляции ПКС при формировании сосудистых и механических элементов ксилемы, ситовидных элементов флоэмы, а также в ПКС паренхимных клеток при формировании ядровой древесины у сосны обыкновенной.

Исследование выполнено в рамках работы по теме «Разработка системы мониторинга бюджета углерода в лесах Восточной Финноскандии» за счет средств ВПП ГЗ "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ" (Регистрационный номер НИОКТР №123120600106-6). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

PARTICIPATION OF PLANT NUCLEASES IN THE FORMATION OF WOODY PLANTS TRUNK TISSUE

Moshchenskaya Yu.L., Galibina N.A., Korzhenevskiy M.A.,
Tarelkina T.V., Nikerova K.M., Semenova L.I.

Forest Research Institute of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences

Key words: programmed cell death, nuclease, xylogenesis, cambium

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПОДРОСТА ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПОСЛЕ РУБОК УХОДА

Новичонок Е.В. *, Галибина Н.А., Климова А.В. Никерова К.М., Софронова И.Н.,
Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Семенова Л.И.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: enovichonok@inbox.ru

Ключевые слова: адаптация, ферменты АОС, продуктивность, рубки осветления, флуоресценция хлорофилла *a*

Подрост ели, формирующийся после сплошных рубок, нуждается в снижении доли листовых пород в составе насаждений для сохранения жизнеспособности формирующихся побегов, хвои и продуктивности дерева в целом (Mård, 1997; Sharma et al., 2006; Weiskittel et al., 2007). В ходе эксперимента мы провели рубки ухода (РУ), как один из самых эффективных приемов формирования ценных еловых древостоев в таежной зоне России в естественных лесах (Синькевич, 2013; Соколов, 2006) и оценили комплексную реакцию растений подростов ели в образцах хвои первого года (X1) и текущего года (Xт), заканчивающей свой рост уже в новых условиях освещения, и тканей ствола (для оценки донорно-акцепторных отношений, ДАО).

В первые дни после РУ зафиксировали торможение работы фотосинтетического аппарата и повышение активности ферментов АОС у X1 и Xт. PI_{ABS} (показатель общей функциональной активности ФСII) снижался и был связан с увеличением ABS/RC (поток энергии, поглощаемой одним активным РЦ) и DI_0/RC (количество энергии, рассеиваемой одним РЦ) и снижением ET_0/RC (поток электронов, переносимых через один активный РЦ). Через две недели после РУ и в конце вегетационного периода наблюдалась перестройка пигментного комплекса: увеличение доли каротиноидов относительно содержания хлорофиллов, снижение содержания хл *a* и хл *b*, а также увеличение экспрессии RuBisCO. Отметим у Xт постепенное восстановление PI_{ABS} и ET_0/RC и снижение DI_0/RC , что свидетельствует о быстрой адаптации. Методы многомерной статистики показали, что к концу вегетационного периода изменение метаболического статуса фотосинтетического аппарата повлекло изменение ДАО, что отразилось на биохимической (активность ферментов АОС и углеводного обмена) реакции тканей ствола (в большей степени, флоэмы). На анатомическом уровне наблюдали достоверное увеличение приростов ксилемы.

В целом, несмотря на быструю адаптацию Xт, продолжающую свой рост и одновременно реагирующую на РУ, более чувствительной к РУ оказалась X1, принимающая более активное участие в ДАО за счет интенсивного транспорта продуктов углеводного обмена. Большинство из исследованных показателей оказались индикаторными и могут быть использованы для оценки продуктивности формирующегося древостоя.

Работа выполнена в рамках реализации ВИПГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации ...» (123030300031-6).

PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF NORWAY SPRUCE UNDERGROWTH AFTER EARLY CLEANING

Novichonok E.V., Galibina N.A., Klimova A.V., Nikerova K.M., Sofronova I.N.,
Tarelkina T.V., Serkova A.A., Semenova L.I.

Forest Research Institute, KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia

Key words: adaptation, AOS enzymes, productivity, cleaning cutting, chlorophyll *a* fluorescence

ВЛИЯНИЕ КОФЕЙНОЙ КИСЛОТЫ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ ФИТОГОРМОНОВ У *SOLANUM TUBEROSUM* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА

Пузина Т.И.* , Макеева И.Ю., Кириллова И.Г.

ОГУ имени И.С.Тургенева, Орёл, Россия

*E-mail: tipuzina@gmail.com

Ключевые слова: кофейная кислота, тубулиновый цитоскелет, фотофосфорилирование, интенсивность фотосинтеза, фитогормоны

Участие кофейной кислоты – представителя фенольных соединений в регуляции физиологических процессов в растительном организме остается малоизученным. Не выявлен её физиологический механизм действия. Ранее мы показали, что кофейная кислота обладает антиоксидантными свойствами. Поэтому представляло интерес изучить её действие в условиях фармакологического стресса, вызванного 15 мкМ раствором оризалина – деструктором микротрубочек, на фотосинтетическую активность, а также содержание цитокининов и АБК. Содержание фитогормонов определяли методом биотестирования: для АБК использовали зону растяжения колеоптилей пшеницы, цитокининов – содержание β-цианинов у *Amaranthus candatus*. О нециклическом фотофосфорилировании судили по утилизации неорганического фосфата. Интенсивность фотосинтеза определяли по поглощению CO₂ на газоанализаторе GFS-3000 FL. Выявлено повышение содержания зеатина в 2,6 раза и снижение уровня АБК в 1,4 раза под действием 0,1 мМ раствора кофейной кислоты. Деструкция микротрубочек оризалином в 3 раза увеличила содержание АБК, тогда как содержание зеатина практически не изменилось. В условиях деполимеризации микротрубочек (вариант оризалин+кофейная кислота) кофейная кислота уменьшила почти в 3 раза накопление АБК и повысила содержание зеатина в 1,7 раза. По-видимому, данный эффект кофейной кислоты связан с её антиоксидантными свойствами. В условиях целостного тубулинового цитоскелета на фоне большего соотношения зеатин/АБК в варианте с кофейной кислотой увеличился процесс нециклического фотофосфорилирования в 2,2 раза и ассимиляция CO₂ на 57%. Обработка оризалином уменьшила данное соотношение, что привело к снижению величины изучаемых фотосинтетических показателей. В условиях нарушения структуры микротрубочек кофейная кислота полностью сняла отрицательное действие оризалина как на процесс фотофосфорилирования, так и интенсивность фотосинтеза. Это происходило при повышении соотношения зеатин/АБК (0,49 против 0,11 в варианте с оризалином). Таким образом, кофейная кислота в условиях целостности микротрубочек на фоне большего соотношения зеатина к АБК увеличила фотофосфорилирование и усвоение CO₂. При их деструкции оризалином она снимала его отрицательное действие на изученные показатели фотосинтетической активности, увеличив содержание цитокининов и уменьшив АБК.

INFLUENCE OF CAFFEIC ACID ON PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND PHYTOHORMONE CONTENT IN *SOLANUM TUBEROSUM* DEPENDING ON THE STRUCTURAL STATE OF THE TUBULIN CYTOSKELETON

Puzina T.I., Makeeva I.Yu., Kirillova I.G.

Oryol State University, Oryol, Russia

Key words: caffeic acid, tubulin cytoskeleton, photophosphorylation, intensity of photosynthesis, phytohormones

ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО И КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ЗАСУХИ, ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И CO₂ НА C₃ И C₄ ВИДЫ СЕМЕЙСТВА AMARANTHACEAE**Рахманкулова З.Ф.* , Шуйская Е.В., Прокофьева М.Ю.,
Саидова Л.Т., Анисина А.А., Воронин П.Ю.**

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

*E-mail: zulfirar@mail.ru

Ключевые слова: CO₂/H₂O-газообмен, ФСII и I, Рубиско, фотосинтетические гены, механизмы гомеостатического водного баланса

Проведен сравнительный морфофизиологический, биохимический, молекулярно-генетический анализ C₃ вида *Chenopodium quinoa* Willd и C₄-НАДФ вида *Kochia prostrata* (L.) Schrad. в условиях засухи (D) и повышенной температуры (eT) при атмосферной (400 ppm) и повышенной концентрации CO₂ (800 ppm, eCO₂). Исследовали параметры роста, водно-солевого баланса, CO₂/H₂O-газообмена, эффективности ФСII, активности циклического транспорта электронов (СЕТ) ФСI, экспрессии фотосинтетических генов, содержания ключевых ферментов карбоксилирования и активности антиоксидантной системы. У обоих видов наибольшую стрессовую реакцию среди одиночных факторов вызвала засуха, наблюдались нарушения световых и темновых реакций фотосинтеза (снижение ФСII, видимого фотосинтеза, экспрессии гена *rbcL*, кодирующего Рубиско) и роста биомассы. Кроме того, у *K. prostrata* засуха подавляла экспрессию генов, кодирующих компоненты ФСI (*psaA*, *psaB*) и пируватфосфатдикиназы (*PPDK*), содержание фотосинтетических ферментов Рубиско и фосфоенолпируваткарбоксилазы, а также видимый фотосинтез и транспирацию, что указывает на устьичное и метаболическое ограничение фотосинтеза, связанное с недостаточным функционированием C₄ углерод-концентрирующего механизма (УКМ). Оба вида были чувствительны к комбинированному действию факторов D+eT и eCO₂+D+eT. У них наблюдалось снижение биомассы, содержания воды, ФСII, экспрессии генов *psaA*, *psaB* и возрастание окислительного стресса. Кроме того, у *C. quinoa* происходило подавление эффективности использования воды, СЕТ ФСI, интенсивности фотосинтеза, транспирации и функционирования защитных механизмов, таких как фотодыхание и активность антиоксидантных ферментов. У *K. prostrata* eCO₂ снижало негативное влияние засухи и комбинированного стресса (D+eT) на CO₂/H₂O -газообмен, но усиливало на ФСII. Кроме того, eCO₂ способствовала увеличению содержания пролина и активации антиоксидантной защиты при участии каталазы и фенольных соединений при D+eT. В целом eCO₂ у кохии повлияло на механизмы гомеостатирования водного баланса и антиоксидантной защиты, а также на соотношение световых и темновых реакций фотосинтеза. Предполагается, что снижение фотосинтеза у *K. prostrata* в условиях засухи и сопутствующих факторов связано с недостаточной работой C₄ УКМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-00551).

INDIVIDUAL AND COMBINED EFFECTS OF DROUGHT, ELEVATED TEMPERATURES AND CO₂ CONCENTRATION ON C₃ AND C₄ SPECIES (AMARANTHACEAE)**Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V., Prokofieva M.Yu.,
Saidova L.T., Anisina A.A., Voronin P.Yu.**

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: CO₂/H₂O gas exchange, PSII and I, Rubisco, photosynthetic genes, mechanisms of homeostatic water balance

**СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ
ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА
«УРАЛ-КАРБОН»****Синенко О.С.***, Полянская А.П., Трубецкой Д.В., Канивец М.О.,
Патрикеева А.А., Киселева И.С.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: olga.sinenko@urfu.ru**Ключевые слова:** вечнозеленые хвойные, хлорофиллы, каротиноиды, сезонные изменения

Наблюдения за сезонными изменениями пигментного аппарата растений и его способностью адаптироваться к меняющимся условиям окружающей среды позволяют оценить функциональное состояние растений и их способность к ассимиляции CO₂. В рамках проекта Урал-Карбон изучена сезонная и возрастная динамика хлорофиллов и каротиноидов в хвое 1 и 2 года жизни основных лесобразующих пород в связи с изменением температуры и солнечной радиации. Объекты исследования: ель европейская (*Picea abies* L.), пихта сибирская (*Abies sibirica* L.) и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), возраст 25–30 лет.

Содержание хлорофиллов в хвое первого года увеличивалось по мере роста и достигло максимума к сентябрю у сосны (2,11±0,07 мг/г сух. веса) и октябрю у ели и пихты (1,57±0,07 и 1,89±0,09 мг/г сух. веса). Схожую тенденцию имело накопление каротиноидов. С октября по март происходило снижение содержания хлорофиллов а и б на 20% у ели и пихты и на 40% у сосны. Содержание каротиноидов начинало снижаться с января по март на 10–15%. В апреле синтез пигментов возобновлялся. На второй год жизни динамика фотосинтетических пигментов в хвое была такой же. Максимум содержания был в октябре у ели, пихты и сосны (2,25±0,02, 2,65±0,02 и 3,07±0,07 мг/г сух. веса, соответственно). Деструкция пигментов в зимний период также имела схожий характер.

Данные по содержанию хлорофиллов коррелируют с метеорологическими наблюдениями, а именно с изменением температуры и количества солнечной радиации. Снижение температуры до 0°C и ниже происходило во второй половине октября и достигало -30°C в зимние месяцы, когда и происходила деструкция пигментов, при этом количество солнечной радиации составляло 400–600 W/m² в солнечные дни. Минимальная освещенность наблюдалась в декабре и начале января. Увеличение освещенности и переход к положительным температурам начинался во второй половине марта, а в апреле, когда положительные температуры становились устойчивыми, происходило существенное обновление пигментов.

Таким образом, динамика фотосинтетических пигментов у вечнозеленых хвойных в значительной мере определялась изменением метеорологических условий в течение года.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и образования РФ, проект номер FEUZ-2024-0011.

**SEASONAL DYNAMIC OF THE PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE MAIN
FOREST-FORMING SPECIES FROM THE CARBON POLYGON “URAL-CARBON”****Sinenko O.S., Polyanskaya A.P. Trubetskoy D.V., Kanivets M.O.,
Patrikeeva A.A., Kiseleva I.S.**

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: evergreen conifers, chlorophylls, carotenoids, seasonal changes

ТРАНСПОРТ УГЛЕРОДА ПО ФЛОЭМЕ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ В КОРНЕВЫЕ СИСТЕМЫ И ПОЧВУ НА ТЕРРИТОРИИ ГПЗ “КИВАЧ” (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)**Тарелкина Т.В. *, Серкова А.А., Галибина Н.А., Теслюк И.А., Софронова И.Н., Семин Д.Е., Качанова Е.В., Семенова Л.И.**

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”, Петрозаводск, Россия

*E-mail: karelina.t.v@gmail.com

Ключевые слова: флоэма, ситовидные клетки, гидравлическая проводимость, флоэмный транспорт

В лесах значительная доля углерода, зафиксированного в процессе фотосинтеза, транспортируется по флоэме в корневые системы деревьев и выделяется в почву в виде корневых экссудатов. Масса углерода, которая может быть транспортирована за единицу времени, во многом определяется анатомическими характеристиками флоэмы. Цель работы заключалась в оценке массы углерода, транспортируемого по флоэме деревьями сосны, произрастающими в подзоне средней тайги (Республика Карелия).

Исследование выполнялось на постоянных пробных площадях (ППП) тестового полигона мониторинга бюджета углерода в ГПЗ «Кивач». Возраст древостоев 160–200 лет. На ППП были подобраны модельные деревья сосны обыкновенной, близкие по размерам к средним значениям по древостою. С модельных деревьев отбирали образцы флоэмы и ветви для анатомической характеристики флоэмы, определения содержания сахаров и осмоляльности флоэмного экссудата. Отборы проводили в период активного камбиального роста (июнь) и после завершения камбиального роста (конец июля – начало августа) в 2023 году. Лабораторные исследования вели с использованием общепринятых методов.

Модельные деревья не отличались по основным анатомическим характеристикам флоэмы (ширина проводящей флоэмы, размеры ситовидных клеток). Гидравлическая проводимость флоэмы составляла $2,7\text{--}3,5 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3 \text{ Па}^{-1} \text{ с}^{-1}$ в июне и $4,0\text{--}5,3 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3 \text{ Па}^{-1} \text{ с}^{-1}$ в начале августа. В июне содержание сахаров варьировало от 4,6% до 13,8%, в июле – от 4,7% до 8,9%. Расчетные значения массы углерода, транспортируемого по флоэме в корневые системы, составили 48–60 г/сут при благоприятных погодных условиях, и 20–25 г/сут при неблагоприятных погодных условиях. Таким образом, за вегетационный период в условиях средней тайги средние по размерам 160–200-летние деревья сосны могут транспортировать в подземную часть от 2,9 до 8,8 кг углерода, что составляет от 11% до 30% массы углерода, зафиксированного деревом в процессе фотосинтеза. В пересчете на площадь древостоя масса транспортируемого по флоэме углерода может составлять более 2,4 т/га в год.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

CARBON TRANSPORT THROUGH THE PHLOEM OF PINE TREES TO ROOT SYSTEMS AND SOIL IN THE TERRITORY OF THE STATE NATURE RESERVE “KIVACH” (REPUBLIC OF KARELIA)**Tarelkina T.V., Serkova A.A., Galibina N.A., Teslyuk I.A., Sofronova I.N., Semin D.E., Kachanova E.V., Semenova L.I.**

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Key words: phloem, sieve cells, hydraulic conductivity, phloem transport

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГАЛОФИТНЫХ СООБЩЕСТВ НА ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ**Теребова Е.Н.^{1*}, Павлова М.А.¹, Красильников П.В.²**¹Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: eterebova@gmail.com

Ключевые слова: галофитные сообщества, клеточная стенка, углерод, металлы, ферменты

В береговой зоне побережий морей Российской Арктики формируются местообитания (соленые марши на илистых береговых осушках и в устьевых зонах рек), заселенные специфическими сообществами растений, обладающие уникальной структурно-функциональной целостностью и значительным потенциалом депонирования элементов. Общее видовое богатство литоральной зоны морей составляет около 40 видов сосудистых растений. Можно отметить феномен приморских экосистем – доминирование одних и тех же видов в широком диапазоне сообществ. Основными доминантными видами приморской территории являются астра морская (*Tripolium vulgare* Bess. ex Nees), триостренник морской (*Triglochin maritima* L.), клубнекамыш морской (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla), подорожник морской (*Plantago maritima* L.), солерос европейский (*Salicornia europaea* L.), полевица побегообразующая (*Agrostis stolonifera* L.), осока солелюбивая (*Carex salina* Wahlenb.).

Эти виды имеют механизмы кросс-адаптации к существованию в постоянно меняющихся условиях среды (приливно-отливная динамика моря, вариации газового состава, температуры, загрязнение). Растения галофиты обитают в условиях загрязнения морской воды ионами нитратов, свинца, никеля, железа и незагрязненных, бедных по составу макро- и микроэлементами грунтов литорали морей. Установлены следующие особенности метаболизма и структуры растений галофитов литорали прибрежной территории: 1. Растения галофиты – гипераккумуляторы железа, накапливают во всем растении до 3 г / кг железа, сохраняя оптимальное физиологическое состояние 2. Отмечено увеличение количества карбоксильных СООН- и фенольных ОН – групп, показателей набухания (К наб.) в структуре клеточной стенки листа и корневища галофитов по градиенту заливания и при увеличении солености морской воды, 3. Существует положительная корреляция между активностью супероксиддисмутазаы (СОД) и каталазы (КАТ) в листе галофитов. Активность СОД листа зависит от приливно-отливной динамики моря, 4. До 300 г С/м² депонируется в надземной массе растительных сообществ литорали морей (максимально *Salicornia europaea*–*Tripolium vulgare*–*Bolboschoenus maritimus* сообществом).

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда Российской Федерации (тема № 23-67-10006).

FUNCTIONING OF HALOPHYTIC PLANT COMMUNITIES IN THE COASTAL TERRITORY OF THE WHITE AND BARENTS SEAS**Terebova E.N.¹, Pavlova M.A.¹, Krasilnikov P.V.²**¹Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia**Key words:** halophytic communities, cell wall, carbon, metals, enzymes

ПРИЗНАКИ C₄-ПОДОБНОГО ТИПА ФОТОСИНТЕЗА У C₄-НАДФ ВИДА *KOCHIA PROSTRATA* ПРИ РАЗНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ CO₂**Шуйская Е.В. *, Халилова Л.А., Прокофьева М.Ю., Рахманкулова З.Ф.**

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

*E-mail: evshuya@gmail.com**Ключевые слова:** Рубиско, иммунолокализация, НАДФ-МДГ, НАДФ-МЭ, клетки обкладки и мезофилла

Исследовали содержание и локализацию большой субъединицы Рубиско (RbcL) в клетках обкладки мезофилла, содержание крахмальных зерен в хлоропластах клеток обкладки и мезофилла, а также активность НАДФ-зависимых малатдегидрогеназы (МДГ) и малик энзима (МЭ), участвующих в C₄ углерод-концентрирующем механизме (УКМ) у C₄-НАДФ виде *Kochia prostrata* при действии повышенной концентрации CO₂ (800 ppm, eCO₂) при оптимальной (25°C) и повышенной (32°C) температурах. Выявлено присутствие Рубиско не только в клетках обкладки, что характерно для C₄ типа фотосинтеза, но и в клетках мезофилла, что является признаком C₄-подобного (C₄-like) типа фотосинтеза. Наличие крахмальных зерен в клетках обкладки и ближнем к нему слое клеток мезофилла (М(I)) у контрольных растений свидетельствует об активности в них цикла Кальвина. Действие повышенной температуры и/или eCO₂ ведет к значительному снижению количества крахмальных зерен в данных клетках, вероятно, в результате снижения активности C₄-УКМ (активности НАДФ-зависимых МДГ и МЭ). При этом, активность НАДФ-МДГ оказалась чувствительной к температурному воздействию, тогда как активность декарбоксилирующего НАДФ-МЭ снижалась и при повышенной температуре, и при eCO₂, но наиболее сильно при их совместном действии. При действии eCO₂ независимо от температуры наблюдалось появление крахмальных зерен в клетках второго слоя мезофилла (М(II)), что указывает на активность в них цикла Кальвина. Таким образом, *K. prostrata* демонстрирует признаки C₄-подобного типа фотосинтеза и, возможно, активный C₃ цикл в клетках М(II) в условиях повышенной концентрации CO₂ и при совместном действии eCO₂ и повышенной температуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-24-00551).

SIGNS OF C₄-LIKE PHOTOSYNTHESIS IN C₄-NADP SPECIES *KOCHIA PROSTRATA* AT DIFFERENT CO₂ CONCENTRATIONS**Shuyskaya E.V., Khalilova L.A., Prokofieva M.Yu., Rakhmankulova Z.F.**

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: Rubisco, immunolocalization, NADP-MDH, NADP-ME, bundle sheath and mesophyll cells.

Секция 2
«Производственный процесс растений
и факторы его лимитирования
в природных условиях и агрофитоценозах.
Дистанционные методы оценки
и коррекции продуктивности»

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЕРПЕНОИДОВ В РАСТЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE

Алшиха А., Прохоренко Н.Б., Тимофеева О.А.*

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Казань, Россия

*E-mail: otimofeeva2008@mail.ru

Ключевые слова: растения семейства губоцветные, терпеноиды, антибактериальная активность, секреторные трихомы

Спектр биологической активности лекарственных растений определяется наличием достаточного числа веществ разных химических классов и групп, которые в том или ином количестве присутствуют практически в каждом лекарственном растении (эфирные масла, флавоноиды, полифенолы, полисахариды и пр.). В данной работе особое внимание уделяется эфирно-масличным растениям семейства Губоцветные, поскольку различные терпеноиды, терпеноподобные вещества и их производные (эфирные масла) обладают ярко выраженной антимикробной активностью, что особенно важно при создании нового поколения лекарственных средств, обладающих антимикробными свойствами. В связи с этим поиск новых видов растений, синтезирующих в больших количествах терпеноиды с высокой антимикробной активностью, разработка приемов их выращивания с целью повышения содержания в них нужных соединений, является первоочередной задачей зеленой биотехнологии. Изучали антибактериальную активность, количество эфирных масел и плотность головчатых и пельтатных секреторных трихом на надземных органах шести видов растений семейства губоцветные: *Stachys sylvatica*, *Salvia verticillata*, *Salvia tesquicola*, *Clinopodium vulgare*, *Lamium maculatum*, *Betonica officinalis*. Обнаружено, что эфирные масла *Clinopodium vulgare* обладают самой высокой антибактериальной активностью, которая не зависит от количества эфирных масел в растении. Количество эфирных масел в растении в меньшей степени зависит от плотности расположения секреторных трихом, и в большей – от особенностей их строения.

ASSESSMENT OF THE CONTENT AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF TERPENOIDS IN PLANTS OF THE LAMIACEAE FAMILY

Alshikha A., Prokhorenko N.B., Timofeeva O.A.

Kazan Federal University, Kazan, Russia

Key words: plants of Lamiaceae family, terpenoids, antibacterial activity, glandular trichomes

ВЛИЯНИЕ КРАСНОГО И ДАЛЬНОГО КРАСНОГО СВЕТА НА ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС САЛАТА-ЛАТУКА

Анисимов А.А. *, Никитин М.М., Смолкин К.А., Тараканов И.Г.

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Россия

*E-mail: anisimov_a@rgau-msha.ru

Ключевые слова: салат-латук, светокультура, гидропоника, продукционный процесс, спектральный состав света

На базе лаборатории искусственного климата кафедры физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в рамках реализации программы исследований НЦМУ «Агротехнологии будущего» «Разработка умной сити-фермы» исследовали влияние красного и дальнего красного света на продукционный процесс растений салата-латука сортов Афицион и Кармези.

Растения выращивали в гидропонной системе периодического подтопления: Температура круглосуточно поддерживалась на уровне +23°C, субстрат – кубики из минеральной ваты. Питательный раствор с добавлением макро- и микроэлементов в минеральной и органической форме готовили самостоятельно. Смену питательного раствора проводили еженедельно. Периодичность подачи питательного раствора – 1 раз в два часа. Фотопериод – 18 часов. Источники света – узкополосные светоизлучающие диоды. При установке светового режима исходили из цели оценить действие добавления к белому свету красного (650 нм) и дальнего красного света (740 нм) на продукционный процесс салата-латука при сходных показателях плотности потока фотонов. Растения выращивали до стадии товарной спелости, которая наступила на 35 день от всходов. Более высокой товарностью урожая характеризовались растения салата, выращенные при добавлении в спектр красного света. Данные растения сформировали более плотную и крупную розетку листьев. Листовые пластинки салата были вытянутой формы, с характерным расширением в их верхней части. Морфология листа существенно не меняется в различных вариантах освещения, но можно отметить более рельефную листовую пластинку с сильнее выраженной гофрированностью у салата сорта Кармези, выращенного при добавлении в спектр дальнего красного света.

Салат сорта Кармези, выращенный при добавлении в спектр дальнего красного света, накопил большее количество антоцианов и характеризовались более яркой и насыщенной фиолетовой окраской листьев. Сорт Афицион не накапливает антоцианы при любом из вариантов освещения. Урожайность двух сортов салата при выращивании в условиях дальнего красного света не отличалась между собой и достигала уровня 3,1–3,3 кг/м². В условиях красного света урожайность обоих сортов салата превысила таковую в условиях дальнего красного света. При этом сорт Кармези оказался наиболее урожайным – до 4 кг/м².

Условия добавления красного света в спектр лампы оказались более благоприятными для реализации потенциала продуктивности салата-латука обоих изученных сортов, однако дальний красный свет стимулирует накопление вторичных метаболитов – антоцианов у сорта Кармези, повышая тем самым биологическую ценность получаемой биомассы.

THE EFFECT OF RED AND FAR RED LIGHT ON THE LETTUCE PRODUCTION PROCESS

Anisimov A.A., Nikitin M.M., Smolkin K.A., Tarakanov I.G.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Key words: lettuce, artificial lighting, hydroponics, production process, spectral composition of light

ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ *VESICULARIA DUBYANA* BROTH. К СИНТЕЗУ БИОГЕННЫХ АМИНОВ

Бельшенко А.Ю.* , Моргунова М.М., Малыгина Е.В., Имидоева Н.А.,
Дмитриева М.Е., Вавилина Т.Н., Аксёнов-Грибанов Д.В.

ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

*E-mail: al.belyshenko@gmail.com

Ключевые слова: *Vesicularia dubyana*, биогенные амины, антибактериальная активность

За последние 20 лет значительно увеличились сведения по химии природных соединений бриофитов. Несмотря на многочисленные исследования различных свойств вторичных метаболитов мохообразных, лишь некоторые работы были посвящены соединениям, обладающим нейрогенными свойствами. Большинство работ было сосредоточено на наземных мохообразных собранных в природе, а также их эксплантах, выращенных *in vitro*. Однако, исследования водных видов мха были относительно ограниченными и относились в основном к изучению их, как эффективных объектов биомониторинга. Таким образом, целью нашего исследования являлась оценка антиоксидантной, антибактериальной активности метанольных экстрактов водного мха *Vesicularia dubyana* и проверка способности мха синтезировать такие биогенные амины как: гистамин, триптамин, тирамин, кинуренин.

Водный мох выращивали в лабораторных условиях, при комнатной температуре (18–23°C) в полипропиленовых прозрачных контейнерах, которые наполняли наполовину водопроводной водой. Для освещения использовали фитолампы (900–1300 Лк., 12/12 ч.), а для перемешивания водной массы в контейнере применяли погружную аквариумную помпу. Замену воды проводили каждые 10 дней. Выращивание продолжали на протяжении 4 недель, или до прироста биомассы в объеме не менее чем на 50 %. Для исследования использовали метанольный экстракт *V. dubyana*, а также среду, в которой проводили его культивирование. Для ВЭЖХ-МС анализа и проверки антиоксидантной и антибактериальной активности, образцы мха экстрагировали 100% метиловым спиртом. Антибиотическую активность экстрактов оценивали с помощью диско-диффузионного метода. Качественную оценку антиоксидантной активности проводили с помощью DPPH. Содержания биогенных аминов определяли с помощью хромато-масс-спектрометрического анализа на базе хромато-масс-спектрометра Agilent Technologies Infinity II с масс-спектрометрическим детектором 6470B.

В ходе оценки антибактериальной активности 18 тест культур, ингибирование роста экстрактом из мха наблюдалось исключительно у *St. carnosus* и *E. coli* tolC KanR. Анализ качественной реакции продемонстрировал, что метанольный экстракт *V. dubyana* обладает умеренной антиоксидантной активностью. Концентрат культуральной среды, антиоксидантную активность не проявил. В ходе анализа MRM-переходов был обнаружен кинуренин - продукт метаболизма триптофана Аналогичным способом в составе метанольных экстрактов *V. dubyana* обнаружены гистамин и следовые амины – тирамин и триптамин. В концентрате культуральной среды, кроме гистамина, других биогенных аминов обнаружено не было. Таким образом, в нашем исследовании впервые показана способность водного мха *V. dubyana* продуцировать биогенные амины, как эндогенно, так и экзогенно.

Работа выполнена при поддержке: FZZE 2024-0003, FZZE 2024-0011.

EVALUATION OF THE ABILITY OF *VESICULARIA DUBYANA* BROTH. TO SYNTHESISE BIOGENIC AMINES

Belyshenko A.Yu., Morgunova M.M., Malygina E.V., Imidoeva N.A.,
Dmitrieva M.E., Vavilina T.N., Axenov-Gribanov D.V.

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Key words: *Vesicularia dubyana*, biogenic amines, antibacterial activity

ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СОРТОВ ВИНОГРАДА В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА

Власова Е.В.^{1*}, Алиева З.М.², Мамедова К.К.²

¹ПИБР ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

²ФГБОУ ВО «ДГУ», Махачкала, Россия

*E-mail: elpin1@yandex.ru

Ключевые слова: виноград, солевой стресс, фотосинтез, флуоресценция

В связи с нарастающей аридизацией экосистем и усилением засоления почв все острее стоит вопрос о выборе наиболее солеустойчивых сортов винограда. Одним из общепринятых индикаторов состояния растений в условиях стресса служит оценка изменений эффективности первичных процессов фотосинтеза. Нами проведены исследования эффективности фотосинтеза и основных фотосинтетических параметров сортов винограда: Августин, Агадаи, Молдова и Ркацители. Квантовые выходы фоновой флуоресценции ($F'0$) в контрольном варианте у всех сортов был практически одинаковым и варьировал от 37,00 у сорта Августин до 44,33 у сорта Молдова. Квантовый выход максимальной флуоресценции (Fm') был наибольшим у сорта Молдова, составив 122, затем следовали сорта Агадаи и Ркацители, где различия были незначительными, несколько ниже были показатели сорта Августин (91 отн. ед). Эффективность фотохимического преобразования света (YII) довольно высока у всех сортов ($0,65 \pm 0,02$), различия незначительны.

В условиях засоления у всех сортов отмечено увеличение интенсивности Fm' относительно своих контролей в 1,4–1,7 раз, а эффективности фотосинтеза (YII) в 1,3 раза ($0,77 \pm 0,01$), увеличение нефотохимического тушения. Самые низкие показатели $F'0$ и Fm' на фоне наибольшего показателя $Y(II)$ 0,78 наблюдались у сорта Ркацители. Наибольшие потери энергии в виде тепловой диссипации (NPQ) отмечены у сорта Молдова, наименьшие – у сорта Августин. Анализ полученных данных, с учетом дополнительных фотосинтетических параметров, рассчитанных по показателям световых кривых (α , I_k , I_b , β , ETR_{mPot} , ETR_m) позволяет предположить, что все сорта справляются с солевым стрессом, однако наиболее эффективно фотосинтез идет у сорта Ркацители.

FLUORESCENT PARAMETERS OF GRAPE VARIETIES UNDER SALT STRESS

Vlasova E.V.¹, Alieva Z.M. I.O.², Mamedova K.K.²

¹PIBR DFRC RAS, Makhachkala, Russia

²Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Key words: fluorescence, grapes, photosynthesis, salt stress

ОЦЕНКА РЕПРОДУКТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ ОБЫКНОВЕННОЙ ЗЛАКОВОЙ ТЛИ (*SCHIZAPHIS GRAMINUM* R.) НА ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА ЦИРКОН И ЭПИН-ЭКСТРА

Голиванов Я.Ю. *, Захарова Е.В.

ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия

*E-mail: Gelagen@yandex.ru

Ключевые слова: *Schizaphis graminum*, репродуктивная способность тлей, регуляторы роста растений

Тли – одни из наиболее вредоносных насекомых. Большая численность тлей способна нанести серьезный вред и привести к гибели растений. По некоторым литературным данным потери могут достигать до 60–80% урожая. В связи с быстрым ростом популяций тлей, они легко могут распространяться на больших участках сельхозугодий, нанося значительный урон здоровому растению за счет передачи вирусов, физических повреждений, а также фитотоксичности.

Защита растений от вредных организмов особенно важна в условиях интенсивного сельскохозяйственного производства, отдельные элементы которого зачастую содействуют развитию вредителей, болезней и сорных растений. Данная проблема представлена, в основном, пестицидной нагрузкой, которая ведет к гибели полезной энтомофауны. Однако помимо пестицидов есть и другие химические агенты, используемые в сельскохозяйственном процессе. Примером недостаточной изученности влияния могут служить регуляторы роста растений (РРР), все чаще применяемые в больших масштабах. Все публикации рассматривают вопросы влияния РРР на растение, однако вопрос влияния на тлей остается открытым.

Целью работы являлось выявление влияния РРР Эпин-Экстра и Циркон на репродуктивную способность обыкновенной злаковой тли, питающуюся на растениях яровой тритикале. Во всех вариантах обработки РРР растений численность тлей значительно возрастала. Образцы Хлебодар, 8-35-5, 9228, П13-5-13, 9304, Dublet, П-2-16-11, 32-24 и PL520484 проявляли наибольшую устойчивость к обыкновенной злаковой тле до обработки. После обработки РРР уровень численности выравнивался с менее устойчивыми вариантами.

EVALUATION OF THE REPRODUCTIVE ABILITY OF THE COMMON GRASS APHID (*SCHIZAPHIS GRAMINUM* R.) ON SPRING TRITICALE WHEN TREATED WITH GROWTH REGULATORS ZIRCON AND EPIN-EXTRA

Golivanov Ya.Yu., Zakharova E.V.

All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

Keywords: *Schizaphis graminum*, reproductive ability of aphids, plant growth regulators

ВЛИЯНИЕ ГОМОГЕНАТА ИЗ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ НА ТИТР ПЛАНКТОННОЙ КУЛЬТУРЫ, ПЛОТНОСТЬ БИОПЛЕНОК И АКТИВНОСТЬ ПЕКТИНАЗЫ *PECTOBACTERIUM ATROSEPTICA***Гончарова А.М.^{1*}, Москаленко А.Е.², Дворникова Е.Н.², Ломоватская Л.А.¹**¹ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений ИНЦ СО РАН, Иркутск, Россия²ФГБОУВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия*E-mail: alvlad87@mail.ru**Ключевые слова:** *Pectobacterium atrosepticum*, пектиназа

Pectobacterium atrosepticum (*Pca*) является представителем бактериального семейства *Enterobacteriaceae* и вызывает мягкую гниль у нескольких видов растений. Есть сведения о том, что растительные экстракты повышают активность секретируемых в среду роста экзопектиназ пектобактерий. Целью настоящего исследования было выяснить влияние гомогената из стеблей растений картофеля *in vitro* на изменение титра планктонной культуры, плотность биопленок и активность пектиназ высоковирулентного и слабовирулентного штаммов *Pca*. При этом в экспериментах использовали растения картофеля *in vitro* двух сортов, контрастных по устойчивости к данному патогену. Наши исследования показали, что гомогенат из растений устойчивого сорта картофеля снижает титр только слабовирулентного штамма. При этом воздействие гомогената из растений восприимчивого сорта приводило к возрастанию титра обоих штаммов, причем высоковирулентного – в большей степени. Присутствие гомогената из растений обоих сортов приводило к возрастанию плотности биопленок обоих штаммов *Pca*. Повышение активности пектиназы *Pca* в планктонной культуре происходило только под влиянием гомогената из растений восприимчивого сорта, тогда как аналогичный препарат из растений устойчивого сорта ингибировал ее активность. В то же время на активность фермента в биопленках растительные препараты практически не оказывали влияния. Предполагается, что это связано с большей доступностью для растительных действующих веществ соответствующих бактериальных сайтов. Ранее в литературе такой феномен не описывался; его обнаружение в дальнейшем, возможно, поможет в расшифровке механизма модуляции активности гидролитических ферментов пектобактерий.

INFLUENCE OF A HOMOGENAT FROM POTATO PLANTS ON THE TITER OF PLANKTON CULTURE, BIOFILM DENSITY AND ACTIVITY OF *PECTOBACTERIUM ATROSEPTICA* PECTINASE**Goncharova A.M.¹, Moskalenko A.E.², Dvornikova E.N.², Lomovatskaya L.A.¹**¹Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Institute of Scientific Research Center SB RAS, Irkutsk, Russia²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Irkutsk State University”, Irkutsk, Russia**Key words:** *Pectobacterium atrosepticum*, pectinase

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ НУТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Донская М.В.

ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», Орел, Россия

E-mail: nmaria_87@mail.ru

Ключевые слова: клубеньки, нут, сорт, урожайность, штамм

Нут (*Cicer arietinum* L.) является ценной зернобобовой культурой и отличается высокой питательностью и засухоустойчивостью. Растения нута в симбиозе с клубеньковыми бактериями *Mesorhizobium ciceri* способны фиксировать от 60 до 160 кг/га молекулярного азота воздуха, играя важную роль в поддержании почвенного плодородия, особенно на подверженных засухам землях. Оптимизировать условия функционирования симбиоза можно путем совместной инокуляции семян ризобиями и штаммами фосфатмобилизующих микроорганизмов, а также штаммами антагонистов фитопатогенов. Цель исследования заключалась в определении эффективности применения микробиологических препаратов на перспективных сортах нута без применения минеральных удобрений на темно-серых лесных почвах. Опыт включал варианты с предпосевной инокуляцией семян специфичными азотфиксирующими бактериями *Mesorhizobium ciceri* (штамм 527), микробный препарат Ризобин^{агро} и препарат Микробиоком^{агро}. Микробиологические препараты были получены из ВНИИСХ микробиологии (г. Санкт-Петербург) и НИИСХ Крыма (г. Симферополь). Исследования проводили в 2020–2022 гг. на двух сортах нута (Аватар и Краснокутский 123). В среднем за три года максимальное число клубеньков (14–16 шт./раст.) с наибольшей массой наблюдалось у сортов нута в варианте с *Mesorhizobium ciceri* (штамм 527). Инокуляция семян микробиологическими препаратами повышала биомассу растений до 21%, массу корней до 19,9% по сравнению с контролем. Во всех вариантах опыта наблюдалось увеличение числа бобов на растении на 11,4...26,3 %, числа семян на 11,7...31,0%, семенной продуктивности растений на 10,3...35,5%, крупности семян на 3,9...9,7%. Микробиологические препараты повышали урожайность зерна нута на 8,0...18,6%. Максимальная прибавка урожайности отмечалась у сорта Аватар в варианте *Mesorhizobium ciceri* (штамм 527) и составила 3,4 ц/га, у сорта Краснокутский 123 в вариантах с *Mesorhizobium ciceri* (штамм 527) и Микробиоком^{агро} – 3,3–3,4 ц/га соответственно.

FEATURES OF CHICKPEA PLANTS DEVELOPMENT WHEN USING MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS

Donskaya M.V.

FSBSI «Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops», Orel, Russia

Keywords: chickpea, nodules, strain, variety, yield

ВАВИЛОВСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЕЛЕКЦИИ

Драгавцев В.А., Гончарова Э.А.*

Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: e.goncharova@vir.nw.ru

Ключевые слова: минеральное питание, ассимиляты, аттрагирующая способность

Важнейшим аспектом создания новых технологий селекции генотипов с программируемыми признаками является максимальная мобилизация природно-климатических ресурсов на формирование качественного урожая. Особое значение приобретает создание сортов, способных в конкретных экологических условиях формировать высокий для данного региона урожай с ценными потребительскими качествами. Однако культивируемые растения в природной среде часто испытывают недостаток водного и минерального обеспечения.

Результаты опытов в контролируемых условиях показывают существенное влияние удобрений на элементы продуктивности растения: число колосков и зерен, массу зерен в колосе и урожай зерна с одного растения (рост от 50 до 200%); в меньшей степени изменяется масса 1000 зерен. Установлено, что условия питания однотипно влияют на удельную аттрагирующую способность одной зерновки. Обнаружено, что кроме фотосинтеза существует еще два источника аттрагируемых растением веществ – реутилизация «старых» ассимилятов из незерновых элементов спелого колоса (колосовые чешуи, стержень колоса и другие) и временно депонированных в вегетативных органах, особенно в стеблевой паренхиме. Долевой вклад этих источников по сравнению с фотосинтезом ниже, особенно при удобрении растений. На неудобренном фоне доля реутилизации запасных веществ из стебля превышает вклад колоса. Однако при внесении удобрений значение колоса как источника «старых» ассимилятов повышается. Внесение удобрений, как правило, увеличивает коэффициент аттракции колоса, но снижает удельную аттрагирующую способность одной зерновки. Вклад фотосинтеза в аттракцию зерном пластических веществ на удобренных вариантах увеличивается, а доля реутилизации ранее депонированных ассимилятов уменьшается. Следовательно, повышение уровня минерального питания в оптимальных границах увеличивает приток ассимилятов к формирующимся зерновкам, а интенсивность этих процессов зависит от терморегима среды и периода роста и налива зерна. Результаты исследований дают основание для дальнейшего применения физиолого-генетических параметров при выявлении ценных генотипов в целях селекции новых сортов и рационального их размещения в соответствующих погодно-климатических регионах.

Исследования поддержаны грантами РФФИ.

VAVILOV COLLECTION OF PLANT GENETIC RESOURCES AND PHYSIOLOGICAL BASES OF BREEDING

Dragavtsev V.A., Goncharova E.A.

Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov, Saint-Petersburg, Russia.

Key words: mineral nutrition, assimilates, attraction ability

**ВЛИЯНИЕ УФ-В НА АКТИВНОСТЬ КАСПАЗО-3-ПОДОБНОЙ ПРОТЕАЗЫ ПРИ
СОВМЕСТИМОМ ОПЫЛЕНИИ У *PETUNIA HYBRIDA* E. VILM.****Захарова Е.В.**

ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия

*E-mail: zakharova_ekater@mail.ru***Ключевые слова:** *Petunia hybrida* E. Vilm., пыльцевое зерно, пыльцевая трубка, УФ-В, DEVDаза

Влияние ультрафиолетового (УФ) излучения на растение при естественном солнечном свете неизбежно из-за необходимости улавливать свет для фотосинтеза. Хотя признано, что воздействие УФ, особенно в диапазоне УФ-В спектра (280-320 нм), играет важную регулирующую роль в развитии растений, УФ-В излучение также является значительным стрессором, вызывающим вредные последствия. Многочисленные исследования выявили реакции растений на УФ-В, которые включают некроз тканей, изменения в транспирации и фотосинтезе, а также в росте, развитии и морфологии, включая репродуктивные процессы. Целью нашего исследования являлось выяснить влияние облучения УФ-В на активность каспазо-3-подобной протеазы в процессе совместимого опыления у петунии (*Petunia hybrida* E. Vilm.).

Активность каспазо-3 подобной протеазы (DEVDазы) в экстрактах пестика оценивали по расщеплению флуорогенного субстрата Ac-DEVD-AMC. Высвобождение флуорофора регистрировали на микропланшетном ридере BioTek Synergy H1 (США) с многоканальным детектором. Исследования выполнены с использованием растений петунии из лабораторной коллекции, которые выращивали в условиях оранжереи при естественном освещении. Для работы брали по 2 мг пыльцы каждого образца, помещали в чашки Петри, для исключения экранирования кисточкой разбивали пыльцу в монослой, закрывали пленкой, облучали эритемными лампами ЛЭ-30 с интенсивностью УФ-В 5 Вт/м². Дозы УФ-В от 1,5 до 18 кДж/м² регулировали продолжительностью облучения. Далее проводили опыление облученной пыльцой и материал собирали на следующий день после опыления.

Через 24 часа после опыления облученной пыльцой (30 мин облучения УФ-В 5 Вт/м²) активность каспазо-3-подобной протеазы оставалась примерно на уровне контроля. При этом 30 мин облучения УФ-В сухой пыльцы петунии приводило к сильному ингибированию процента прорастания пыльцы на среде культивирования *in vitro*, а пыльца, облученная в течении 45 мин не прорастала. *In vivo* растущая обработанная УФ-В пыльца (15–30 мин обработки) показывала даже небольшую стимуляцию роста, и более длительно обработанная пыльца (45-60 мин обработки) прорастала на рыльце пестика. В системе пыльца-пестик, возможно, работает некий компенсаторный механизм, позволяющий снимать негативное воздействие УФ-В на пыльцу.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № FGUM-2022-0003).

**INFLUENCE OF UV-B ON THE ACTIVITY OF CASPASE-3-LIKE PROTASE DURING
COMPATIBLE POLLINATION IN *PETUNIA HYBRIDA* E. VILM.****Zakharova E.V.**

All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

Key words: *Petunia hybrida* E. Vilm., pollen grain, pollen tube, UV-B, DEVDase

**ЗОНАЛЬНОЕ, ШИРОТНОЕ И ВЫСОТНОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ РАСТЕНИЙ****Иванов Л.А.^{1,2*}, Ронжина Д.А.², Мигалина С.В.², Юдина П.К.², Иванова Л.А.^{1,2}**¹Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия²Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: Leonidiv72@mail.ru

Ключевые слова: хлорофилл, каротиноиды, градиент, высотность, географическая широта, климат

С целью изучения климатических и географических закономерностей изменения содержания фотосинтетических пигментов в листьях растений проводили определение хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов у разных видов растений на различных географических и экологических профилях. Исследования проводили в разных климатических зонах на протяжении последних 15 лет. Содержание пигментов определено у более, чем 1000 видов/образцов растений. Определение проводили спектрофотометрическим методом непосредственно в полевых условиях с помощью портативного оборудования или в лаборатории после фиксации растительного материала в жидком азоте. Параллельно определяли толщину и удельную поверхностную плотность листьев растений.

В результате исследований был проведен анализ содержания и соотношения пигментов растений разных ботанико-географических зон: тундра, лес, степь и пустыня и показано влияние толщины и плотности листовой пластинки на их значения. Показано, что содержание пигментов зависит от климата и изменяется с широтой даже в пределах одной растительной зоны. На экотонном участке растительности проведено сравнение сезонной динамики содержания пигментов у степных и лесных растений. Полученные данные свидетельствуют о разных механизмах настройки пигментного аппарата степных и лесных растений к климатическим и погодным условиям. На высотном профиле в Гоби в условиях аридного климата обнаружена тенденция увеличения концентрации каротиноидов и уменьшения отношения хлорофиллов *a/b* с высотой. На примере *Armeniaca sibirica* L. показано, что высотный фактор влияет на состояние пигментного аппарата листьев, при этом отношение форм пигментов может быть индикатором адаптации фотосинтетической функции к экотопическим условиям.

В результате исследований мы пришли к следующим выводам: во-первых, необходимо продолжать изучение фотосинтетических пигментов у растений на климатических и экологических профилях, а также проводить исследования влияния градиентов факторов в экспериментальных условиях. Исследования необходимо проводить как для отдельных видов, так и на уровне растительных сообществ. Во-вторых, при сравнительном изучении содержания пигментов растений в полевых или экспериментальных условиях необходимо обязательно проводить определение толщины и плотности листовой пластинки, как важных факторов, влияющих на концентрацию пигментов в листе.

Работа выполнена при поддержке ГЗ ТюмГУ (проект FEWZ-2024-0007) и ГЗ Ботанического сада УрО РАН.

**ZONAL, LATITUDINAL AND ALTITUDINAL VARIATION OF PLANT
PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS****Ivanov L.A.^{1,2}, Ronzhina D.A.², Migalina S.V.², Yudina P.K.², Ivanova L.A.^{1,2}**¹University of Tyumen, Tyumen, Russia²Institute Botanic Garden UB RAS, Ekaterinburg, Russia**Key words:** chlorophyll, carotenoids, gradient, altitude, latitude, climate

ОЦЕНКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТРАВЯНОГО СООБЩЕСТВА НА ОСНОВЕ МЕЗОСТРУКТУРЫ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ

Иванова Л.А.^{1,2*}, Ронжина Д.А.², Мигалина С.В.², Юдина П.К.²,
Калашникова И.В.², Иванов Л.А.^{1,2}

¹Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

²Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: ivanova.larissa@list.ru

Ключевые слова: углеродный баланс, структура мезофилла, 3D-моделирование, функциональные типы растений, секвестрационный потенциал

Продуктивность, углеродный баланс и запас углерода относятся к главным функциональным характеристикам растительного сообщества, которые определяются функциональными особенностями доминантных и наиболее обильных видов. Концепция функциональных типов растений (ФТР) позволяет разделить таксономическое разнообразие растений на группы видов со сходными физиологическими свойствами. В настоящее время показано, что метод мезоструктуры фотосинтетического аппарата, включающий полный комплекс показателей структуры, газообмена и пигментного комплекса, является одним из наиболее информативных подходов к выделению ФТР. Нами исследовано более 50 травяных растительных сообществ Урала, Южной Сибири и Монголии. Мы проводили прямые измерения углеродного баланса сообществ с помощью камерного метода, измеряли интенсивность фотосинтеза и транспирации каждого вида непосредственно в полевых условиях, а также в лабораторных условиях исследовали мезоструктуру листьев. В каждом сообществе определяли соотношение разных ФТР в общем проективном покрытии (ОПП) и фитомассе. Результаты показали, что поглотительная способность и первичная продуктивность растительного покрова мало зависели от видового богатства и ОПП, а в большей степени определялись соотношением ФТР в сообществе. Наиболее важными индикаторами фотосинтетического потенциала травяного сообщества были средневзвешенные значения общей поверхности клеток (ИМК) и хлоропластов (ИМХ) в расчете на единицу площади листового полога сообщества. Поскольку ФТР, выделенные на основе мезоструктуры листа, четко различаются именно по показателям ИМК и ИМХ, то данный подход на основе определения ОПП и соотношения в нем ФТР с известными показателями мезоструктуры позволяет быстро и эффективно прогнозировать секвестрационный потенциал травяного сообщества.

Работа выполнена в рамках государственного задания FEWZ-2024-0007 и 123112700111-4.

THE ASSESSMENT OF PHOTOSYNTHETIC CAPACITY OF HERBACEOUS COMMUNITY ON THE BASIS OF LEAF MESOSTRUCTURE

Ivanova L.A.^{1,2}, Ronzhina D.A.², Migalina S.V.², Yudina P.K.²,
Kalashnikova I.V.², Ivanov L.A.^{1,2}

¹Tyumen State University, Tyumen, Russia

²Institute Botanic Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Key words: carbon balance, mesophyll structure, 3D-modelling, plant functional types, sequestration potential

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКЛИК АГРОКУЛЬТУР НА ВНЕСЕНИЕ В ПОЧВУ ОТХОДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО – БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Икконен Е.Н. *, Юркевич М.Г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук, Петрозаводск, Россия

*E-mail: likkonen@gmail.com

Ключевые слова: фотосинтез, дыхание, устойчивость к стрессу, лигносульфонат, избыточно активный ил

Интенсификация сельскохозяйственного производства основывается на внедрении новых экономически выгодных методов и приемов, обеспечивающих, повышение плодородия почв и, как следствие, продуктивности и урожайности растений. В качестве частичной замены внесения в почву высоких доз удобрений рассматривается и изучается широкий спектр веществ, включая отходы целлюлозно-бумажной промышленности. Целью данного проекта являлась оценка влияния внесения в почвы разного состава отходов ЦБК, а именно лигносульфоната натрия и избыточно активного ила, на основные физиологические процессы культурных растений, такие как рост, развитие, фотосинтез, дыхание, водный обмен и устойчивость растений к действию стрессовых факторов среды (дефицит элементов минерального питания, низкая температура, загрязнение почвы тяжелым металлом).

Внесение лигносульфоната натрия в бедную питательными элементами почву, инициировало ростовые процессы, накопление растениями сухого вещества и стабилизировало баланс процессов фотосинтетической ассимиляции CO₂ и его потерь в процессе дыхания в сторону накопления растениями углерода. Однако это положительное влияние не было достаточным для полной оптимизации физиологических процессов и

Внесение избыточно активного ила в почву благотворно отразилось на физиологическом состоянии растений, что особо отчетливо проявлялось в условиях загрязнения почвы свинцом. Независимо от содержания свинца в почве внесение отхода существенно снижало накопление свинца в листьях и корнях растений. Эффект детоксикации достигался через снижение поступления и накопления в растительных тканях тяжелого металла, что обуславливало оптимизацию процессов, протекающих в растении.

В совокупности результаты свидетельствуют о том, что активный ил в большей степени, чем лигносульфонат натрия, проявил положительное влияние на физиологическое состояние растений и может быть рекомендован для использования в сельскохозяйственной промышленности для повышения продуктивности культурных растений

Работа выполнена при поддержке РНФ, № 22-16-00145.

PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF AGRICULTURAL SPECIES TO THE APPLICATION OF FROM PULP AND PAPER MILL SLUDGE INTO THE SOIL FULL TITLE OF THE REPORT IN ENGLISH

Ikkonen E.N., Yurkevich M.G.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Key words: photosynthesis, respiration, stress resistance, lignosulfonate, secondary sludge

СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ РЕГУЛЯТОРА РОСТА И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ**Кириллова И.Г.**

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орёл, Россия

*E-mail: Kafbotany17@mail.ru***Ключевые слова:** мелафен, микроэлементы, пероксидаза, рост, фотосинтез

В данной работе исследовано действие фосфорорганического соединения мелафена (меламинавая соль бис(оксиметил)фосфиновой кислоты) совместно с микроэлементами (цинком и бором) на некоторые показатели фотосинтетической деятельности растения картофеля (содержание хлорофиллов, нециклическое фотофосфорилирование изолированных хлоропластов), а также на активность фермента-антиоксиданта – пероксидазы и ростовые показатели. Обработку регулятором роста мелафеном и микроэлементами проводили путем замачивания посадочных клубней в водных растворах: мелафена – 10 мкМ, а также в смеси мелафена в указанной концентрации с цинковым купоросом ($ZnSO_4 \times 7H_2O$) – 2,8 мМ и в смеси с борной кислотой (H_3BO_3) – 8 мМ в течение 4 часов. Как показали исследования, обработка мелафеном растений картофеля существенно не повлияла на содержание хлорофиллов. Вместе с тем, совместная обработка мелафеном и микроэлементами – цинком и бором – способствовала некоторому увеличению концентрации хлорофиллов в листе (в равной степени). Что касается интенсивности нециклического фотофосфорилирования, то в наших исследованиях показано возрастание данного показателя при совместном действии мелафена и микроэлементов (цинка и бора). Увеличение составило 1,6 и 1,2 раза, соответственно. Показано, что регулятор роста мелафен и мелафен совместно с цинком и бором способствовали повышению активности пероксидазы в листьях картофеля. Большой эффект оказал мелафен совместно с микроэлементом цинком. Что касается клубней, то в период снятия опытов активность пероксидазы, напротив, снизилась во всех вариантах опыта по сравнению с контролем. Показано также, что обработка мелафеном и мелафеном совместно с цинком привела к снижению содержания малонового диальдегида в клубнях растения картофеля. Ростовая активность у растений картофеля, обработанных мелафеном совместно с цинком была наибольшей величиной. Конечная продуктивность растений также возросла при обработке мелафеном и мелафеном совместно с микроэлементами. Большой эффект оказало совместное применение мелафена и микроэлемента цинка. Показано, что при обработке растений мелафеном совместно с цинком масса клубней в кусте картофеля увеличилась на 39,13%, а при обработке мелафеном и бором – на 7,25% по сравнению с контролем. Анализ качественного состава клубней показал, что совместное применение мелафена и микроэлементов способствовало некоторому увеличению сырого протеина, зольности в клубнях. Таким образом, установлено, что растения картофеля чувствительны к совместной обработке регулятором роста мелафеном и микроэлементами – цинком и бором. Синергизм действия выявлен при совместном действии мелафена и микроэлемента цинка.

COMBINED EFFECT OF GROWTH REGULATOR AND MICROELEMENTS ON PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF POTATO PLANT**Kirillova I.G.**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Oryol State University named after I.S. Turgenev”, Orel, Russia

Key words: melafen, microelements, peroxidase, growth, photosynthesis

ДИНАМИКА НИЗКО-И ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ УГЛЕВОДОВ В РАЗНЫХ ОРГАНАХ РАСТЕНИЯ ЯЧМЕНЯ В СВЯЗИ С ФОРМИРОВАНИЕМ КОЛОСА**Киселева И.С.**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: Irina.Kiseleva@urfu.ru***Ключевые слова:** ячмень, углеводы, реутилизация, колос

Донорно-акцепторные отношения (ДАО) – характерная черта биосистем. Доноры (Д) и акцепторы (А) соединены путями транспорта веществ и передачей информационных сигналов. У растений Д ассимилятов – фотосинтезирующие органы, а А – потребляющие. Одни и те же органы могут одновременно образовывать и потреблять ассимиляты. У злаков в наливе колоса наряду с продуктами текущего фотосинтеза используются вещества, запасенные до цветения. Цель работы – характеристика углеводного состава соломины, остей, чешуй и рахиса (ОЧР) колоса ячменя как вторичных доноров ассимилятов для налива зерновок.

В соломине свободные сахара (СС) накапливались до стадии молочно-восковой спелости (МВС) за счет оттока ассимилятов листьев и вторичной мобилизации полисахаридов нижних междоузлий, затем их количество снижалось, тогда как фруктанов росло до стадии МС (43,2 мг/орган), когда удлинение соломины завершилось, но ее биомасса продолжала расти. В фазу созревания зерновок их содержание падало до 7,3 мг/орган. Пектины накапливались до фазы колошения в нижних междоузлиях – 9 мг или 4%, в верхних – до стадии МС (30 мг или 11%); на стадии ВС их содержание было менее 1%. Синтез целлюлозы и гемицеллюлозы (Ц+ГЦ) останавливался в фазу МС.

В ОЧР максимум СС отмечен в фазу МВС, что связано с их фотосинтезом и повышенным запросом на ассимиляты растущими зерновками; к фазе ВС содержание СС снизилось в связи с утратой способности ОЧР к фотосинтезу. Содержание пектинов увеличивалось до МВС и затем резко снижалось, а Ц+ГЦ возрастало.

На финальных стадиях онтогенеза налив зерновок происходил за счет запасенных ранее веществ во временных А – соломине и ОЧР, о чем свидетельствуют опыты по включению ¹⁴С-ассимилятов, образованных листьями в фазу трубкования, в полисахариды соломины, ОЧР и зерновок и ремобилизация продуктов их гидролиза в зерновки. На синтез крахмала в зерновках кроме реутилизированных ¹⁴С-веществ тратились продукты текущего фотосинтеза предфлагового листа и ОЧР колоса. В фазу налива зерна до 50% фотосинтеза ячменя обусловлено нелистовыми органами, в том числе, 34% за счет фотосинтезирующих ОЧР.

Таким образом, ДАО органов ячменя, отражающие накопление, распределение и ремобилизацию углеводов в растениях сложны и определяются онтогенетическим состоянием органов, синтезом ассимилятов и запросом на них со стороны потребляющих органов.

DYNAMICS OF LOW AND HIGH MOLECULAR WEIGHT CARBOHYDRATES IN DIFFERENT ORGANS OF BARLEY PLANTS DURING EAR FORMATION**Kiseleva I.S.**

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Keywords: barley, carbohydrates, reutilization, spikelet

КОРНЕОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПРОРОСТКОВ ИНТЕРОГРЕССИВНЫХ ЛИНИЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ

Коробко В.В.^{1*}, Даштоян Ю.В.², Калинина А.В.²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени
Н.Г.Чернышевского, Саратов, Россия

²Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, Саратов, Россия

*E-mail: v.v.korobko@mail.ru

Ключевые слова: засоление, интрогрессивные линии, *Triticum aestivum* L.

Целью настоящей работы является изучение влияния разнокачественного засоления на морфогенез проростков интрогрессивных линий мягкой пшеницы, содержащих генетический материал *Triticum timopheevii* Zhuk., и проростков сорта Саратовская 76 (в качестве стандарта).

Объектами исследования служили линии мягкой яровой пшеницы, содержащие интрогрессии генетического материала *T. timopheevii* в 2А хромосому мягкой пшеницы: линия L971 содержит замещение 2А(2А[†]), а линии L995/1 и L1110 – транслокацию Т2А.2А[†].

Исследования проведены в лабораторных условиях. В качестве субстрата использованы изоосмотические (7 атм) растворы NaCl, Na₂SO₄. Контролем служили растения, пророщенные на дистиллированной воде.

Соотношение массы корневой системы и побега проростков сорта-стандарта (Саратовская 76) в контрольном варианте опыта (в качестве субстрата культивирования-дистиллят) составило 0,79 отн.ед., что превышает значения анализируемого показателя проростков изученных линий, за исключением линии L971, проростки которой характеризуются наибольшим значением (1,84 отн.ед.) показателя корнеобеспеченности в контрольных вариантах опыта.

Показатель корнеобеспеченности проростков линии с замещенной хромосомой – L971 при хлоридном засолении выше аналогичного значения сорта-стандарта, тогда как у проростков линий, содержащих транслокацию, этот показатель на 0,06 отн. ед ниже (линия L995/1) или соответствует (линия L1110) значению аналогичного показателя у проростков сорта-стандарта.

Исследование влияния сульфатного засоления на проростки изученных линий показало, что растения линии L971 имели меньшую корнеобеспеченность по сравнению с проростками Саратовской 76 (на 0,08 отн. ед), а проростки линий L995/1 и L1110 – превышали это значение (на 0,03 отн. ед и 0,32 отн.ед соответственно).

Таким образом, установлено положительное влияние замещения 2А(2А[†]) на устойчивость к хлоридному засолению и негативное в условиях сульфатного.

THE ROOT-TO-SHOOT RATIO OF SEEDLINGS OF INTEROGRESSIVE BROAD WHEAT LINES UNDER SALINY CONDITIONS

Korobko V.V.¹, Dashtoiyan I.V.², Kalinina A.V.²

¹Saratov State University, Saratov, Russia

²Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

Key words: salinity, intergressive lines, *Triticum aestivum* L.

**ПОТЕНЦИАЛ ПРОДУКТИВНЫХ И АДАПТИВНЫХ КРИТЕРИЕВ РАСТЕНИЙ
LINUM USITATISSIMUM L. В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВЫРАЩИВАНИЯ****Королёв К.П.**

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

E-mail: korolevkonstantin799@gmail.com*Ключевые слова:** лён, генотип, ANOVA, адаптивность, стабильность

В связи с глобальными изменениями климата проблема сочетания биологической продуктивности и экологической устойчивости в одном генотипе становится все более актуальной. Исследования по оценке генотипов льна проводили в трёх экологических пунктах Тюменской области: Нижнетавдинский р-н (среда E1), Омутинский р-н (среда E2), Тобольский р-н (среда E3), различающихся по почвенно-климатическим ресурсам. В качестве объекта исследований использованы сорта льна-долгунца G1 (Томский-16), G2 (Грант), G3 (Alizee), G4 (Betertelsdorf 6884/60), G5 (Дукат), G6 (Маяк) из генетической коллекции кафедры ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры Школы естественных наук Тюменского государственного университета. Закладку опытов и проведение всех сопутствующих учетов и наблюдений выполняли общепринятыми методами. Фенотипические различия между сортами определяли по t-критерию Стьюдента. Результаты экологического тестинга обрабатывали с использованием методов (АММИ, GEI-biplot). На основании дисперсионного анализа (ANOVA) выявлен наибольший достоверный ($p < 0,05^*$) вклад генотипа (фактор G) в урожайность семян льна в условиях Тобольского района ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$; 51,3–42,2%), меньше – в Омутинском ($p < 0,05$; 36,8–28,5%), средовые условия (фактор E) были определяющими в Нижнетавдинской районе для урожайности соломы ($p < 0,05^*$) и волокна ($p < 0,05^*$, $p < 0,01^{**}$). Формирование урожайности тресты в большей степени зависело от сложного генотип-средового взаимодействия (GxE) в Нижнетавдинском (22,5–30,3%) и Тобольской районе (26,8–30,9%). Влияние случайных факторов было незначительным. Согласно АММИ анализу выявлены три основных компоненты в структуре генотип-средового взаимодействия. В Тобольском районе первая (PCA1) и вторая (PCA2) компоненты были высокодостоверными ($p < 0,01^{**}$) в признаках урожайности соломы и тресты, и при этом обеспечивали 88,0–69,1% фактора GxE. В условиях Омутинского района PCA1 и PCA2 были меньше (72,2–77,4%) по признакам урожайности семян и соломы, в Нижнетавдинском – урожайности волокна (82,9–70,3%). Наиболее продуктивной средой для формирования высокой урожайности семян ($89,8 \pm 10,2^* - 33,6 \pm 9,02^*$ г/м²), соломы ($563,3 \pm 8,45^* - 366,6 \pm 13,5$ г/м²), тресты ($504,2 \pm 15,32^* - 288,0 \pm 9,19$ г/м²) была среда E3. К стабильным по урожайности семян были отнесены G1, G2 (E2), урожайности соломы G1, G2 (E3), урожайности тресты G2 (E3), урожайности волокна G1 (E1, E2), которые можно рекомендовать для использования в условиях Тюменской области.

**POTENTIAL OF PRODUCTIVE AND ADAPTIVE CRITERIA OF *LINUM
USITATISSIMUM* L. PLANTS UNDER DIFFERENT GROWING CONDITIONS****Korolev K.P.**

Tyumen State University, Tyumen, Russia

Key words: flax, genotype, ANOVA, adaptability, stability

ПРИМЕНЕНИЕ БИОПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ЭНДОФИТНОГО ШТАММА *BACILLUS SUBTILIS* 3Н В АГРОФИТОЦЕНОЗЕ КАРТОФЕЛЯ

Кузнецова М.В.^{1*}, Кузнецова Т.Н.², Фархутдинов Р.Г.³

¹ООО «Научно-внедренческое предприятие «БашИнком», Уфа, Россия

²ООО «Научно-внедренческое предприятие «БашИнком», Уфа, Россия

³ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

*E-mail: feomela_lina@mail.ru

Ключевые слова: *Bacillus subtilis*, биопрепараты, картофель, эндофитность

Картофель является одной из важнейших продовольственных, кормовых и технических культур. Однако ежегодно вследствие поражения растений фитопатогенами немалая часть урожая теряется, в том числе во время послеуборочного хранения.

С целью защиты растений картофеля в настоящее время применяют различные химические препараты, однако их использование затруднено по ряду причин, среди них формирование устойчивости фитопатогенов, нанесение вреда здоровью человека и нарушение естественного состава почвенной микробиоты, играющей основную роль в процессе почвообразования, питания растений и санитарном состоянии почв. Именно поэтому в сельскохозяйственной отрасли всё чаще предпочтение отдают биопрепаратам, позволяющим снизить пестицидную нагрузку на агрофитоценоз и получить устойчивые урожаи высококачественной продукции. Применение при этом эндофитных бактерий *Bacillus subtilis*, способных колонизировать ткани растений-хозяев, позволяет сохранить качество урожая в послеуборочный период.

В связи с этим актуальным является применение бактериальной суспензии на основе эндофитного штамма *B. subtilis* 3Н с известным пробиотическим действием. Испытания проводили на растениях картофеля сорта Маргарита. Место проведения – предуральская степная зона Республики Башкортостан, Чишминский селекционный центр по растениеводству Башкирского НИИ сельского хозяйства – обособленного структурного подразделения ФГБНУ Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук. Наилучшие показатели по урожаю, товарности клубней, которые выше на 19,8% и 23,9%, соответственно, по сравнению с контролем (НПК), получены при применении суспензии штамма *B. subtilis* 3Н (титр не менее 10^8 КОЕ/мл) в норме 1,5 л/т при обработке клубней и 2 л/га при двукратном применении по вегетации. При этом улучшилось качество продукции: увеличилось содержание витамина С, содержание нитратного азота не превысило предельно допустимые концентрации, улучшились вкусовые качества картофеля и снизилось поражение растений фитопфторой и клубней паршой обыкновенной относительно контроля. Таким образом, полученные результаты позволяют рекомендовать пробиотический эндофитный штамм *B. subtilis* 3Н, как биопрепарат для защиты картофеля, повышения его урожая, товарности и качества клубней.

THE USE OF A BIOPREPARATION BASED ON THE ENDOPHYTIC STRAIN *BACILLUS SUBTILIS* 3H IN POTATO AGROPHYTOCENOSIS

Kuznetsova M.V.¹, Kuznetsova T.N.², Farkhutdinov R.G.³

¹LLC «Scientific and innovative enterprise «BashInkom», Ufa, Russia

²LLC «Scientific and innovative enterprise «BashInkom», Ufa, Russia

³Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Key words: *Bacillus subtilis*, biologicals, potatoes, endophytic

ВЛИЯНИЕ КОРОТКИХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ НА РАСТЕНИЯ *NICOTIANA TABACUM* В РАССАДНЫЙ ПЕРИОД

Лёвкин И.А.^{1,2}, Шерудило Е.Г.¹, Шibaева Т.Г.^{1*}

¹ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия;

²Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия;

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

Ключевые слова: *Nicotiana tabacum*, свето-темновые циклы, фотопериод

Табак (*Nicotiana tabacum* L.) – ценная техническая культура, рассадный период которой может занимать до трети всего времени вегетации. Как и другие представители семейства *Solanaceae* (томат, баклажан, картофель), табак отличается высокой чувствительностью к длинным фотопериодам, что проявляется в снижении содержания фотосинтетических пигментов и развитии хлороза листьев. В то же время табак является светолюбивым растением и недостаток света приводит к снижению урожайности и увеличению продолжительности рассадного периода. В климатических условиях России подготовка рассады может проходить в закрытых системах с искусственным освещением. В таких системах отсутствие заданного извне 24-часового цикла свет/темнота (как это происходит в природных условиях) позволяет произвольно устанавливать те или иные параметры световой среды, благодаря чему удается повышать эффективность производства растительной продукции.

Целью работы было изучить влияние аномальных укороченных свето-темновых циклов 8/4 ч и 4/2 ч с одинаковым по сравнению с фотопериодом 16/8 ч интегралом дневного освещения на рост и развитие растений табака в рассадный период. Растения сорта «Юбилейный новый 142» в течение 59 дней выращивали в климатических камерах при фотопериоде 16/8 ч, а затем перед высадкой в открытый грунт в течение двух недель подвергали воздействию аномальных свето-темновых циклов.

Укороченные свето-темновые циклы привели к небольшому увеличению фотосинтетической активности листьев (оценивали по величине потенциального квантового выхода фотохимической активности фотосистемы II F_v/F_m), незначительному снижению содержания хлорофилла, но продуктивность растений осталась на уровне контроля.

Таким образом, растения табака, находясь в течение 2 недель в условиях аномальных свето-темновых циклов, не демонстрировали нарушений, связанных с развитием циркадной асинхронии. Однако, увеличения накопления биомассы, как это было показано ранее для салата, тоже не произошло, что говорит о видоспецифичности реакции растений на аномальные свето-темновые циклы и необходимости дальнейшего изучения перспектив их применения для освещения с использованием электроэнергии во время непиковых часов.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

EFFECTS OF SHORT LIGHT-DARK CYCLES ON *NICOTIANA TABACUM* TRANSPLANTS

Levkin I.A.^{1,2}, Sherudilo E.G.¹, Shibaeva T.G.¹

¹Federal Research Center “Karelian Research Center of Russian Academy of Science”, Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

²Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

Key words: *Nicotiana tabacum*, light-dark cycle, photoperiod

РОЛЬ ИНТЕГРАЛА ДНЕВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ НА АНОМАЛЬНЫЕ СВЕТО-ТЕМНОВЫЕ ЦИКЛЫ

Мамаев А.В. *, Шibaева Т.Г.

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия

*E-mail: adgsn@yandex.ru

Ключевые слова: интеграл дневного освещения, свето-темновые циклы, продуктивность

Фотосинтетический интеграл дневного освещения (ИДО) – это количество фотосинтетически активной радиации (ФАР), которую растение получает в течение дня. ИДО представляет собой функцию от интенсивности света и времени и выражается как моль света на квадратный метр в день. В условиях закрытых систем, например, на фабриках растений с искусственным освещением, ИДО легко рассчитать, так как интенсивность освещения и фотопериод остаются постоянными в течение определенного времени. Растениям на разных фазах роста требуется разное количество света, однако известно, что в определенном диапазоне продуктивность повышается с увеличением ИДО. При этом предыдущие исследования показали, что для производства сухого вещества растений часто более эффективным является увеличение фотопериода, чем увеличение интенсивности света.

В связи с необходимостью повышения энергоэффективности производства растительной продукции в закрытых системах с искусственным освещением, где нет необходимости учитывать суточный 24-часовой цикл, мы изучали влияние на растения укороченных и удлиненных (отличных от 24 ч) свето-темновых циклов. Результаты показали, что аномальные свето-темновые циклы могут ускорять рост и развитие, увеличивать накопление ценных метаболитов и снижать содержание нежелательных веществ, например, нитратов, и при этом уменьшать энергозатраты на единицу продукции, в основном за счет использования энергии в «непиковые часы». Анализ результатов показал, что при использовании укороченных свето-темновых циклов (например, 4/2, 4/4, 8/4 ч) или удлиненных (например, 24/12, 48/24, 96/48 и др.) не сохраняется обычная для определенного диапазона зависимость продуктивности растений от ИДО. Возможно, это связано с тем, что в случае аномальных свето-темновых циклов растения оказываются освещенными во время условной ночи, и наоборот, в течение условного дня не получают света. Это приводит к рассогласованию внутренних эндогенных ритмов с внешними циклами смены дня и ночи, что может по-разному сказываться на росте, накоплении биомассы и метаболизме растений. Вопрос требует внимательного изучения в связи с тем, что модели роста и развития растений для управления продукционным процессом строятся на основе зависимости ростовых процессов от ИДО.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

THE ROLE OF DAILY LIGHT INTEGRAL IN PLANT RESPONSE TO ABNORMAL LIGHT/DARK CYCLES

Mamaev A.V., Shibaeva T.G.

Federal Research Center «Karelian Research Center of Russian Academy of Science»,
Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

Key words: daily light integral, abnormal light/dark cycle, productivity

ИЗМЕНЕНИЕ ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН *RAPHANUS SATIVUS* VAR. *RADICULA* ОБРАБОТКОЙ ПЛАЗМОЙ С ОДНИМ БАРЬЕРНЫМ РАЗРЯДОМ**Минич А.С.* , Минич И.Б.**

Томский государственный педагогический университет, Томск, Россия

*E-mail: minich@tspu.edu.ru

Ключевые слова: *Raphanus sativus* var. *radicula*, качество семян, плазма, предпосевная обработка

Для улучшения качества семян и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур применяется предпосевная обработка семян, в том числе плазмой барьерного разряда (ПБР). Под воздействием ПБР происходит изменение поверхности семян, вследствие чего семенная кожура становится гидрофобной, улучшается ее смачиваемость и усиливается поглощение воды семенами. При этом активные частицы ПБР проникают внутрь семени, сдвигая ферментативную и фитогормонную активность, что может приводить к активации расхода запасов семени и его ускоренному прорастанию. Положительное влияние обработки семян ПБР на их качество определяется как ее параметрами, так и видом растения. Одной из широко возделываемой культурой является редис. В литературе данные об использовании для обработки семян редиса ПБР единичны и противоречивы.

Цель работы: изучение влияния на качество семян редиса их предпосевной обработки ПБР в атмосфере аргона и воздуха.

Объектом исследований явились семена *Raphanus sativus* var. *radicula* Pers. ‘Ранний красный’ и ‘Алекс F1’. Перед посевом семена растений калибровались по размеру и массе, затем обрабатывались в среде аргона и воздуха в течение 20 с (опыт) в плазмохимическом реакторе с планарным расположением электродов и одним диэлектрическим барьером из стеклотекстолита толщиной 2 мм. Рассчитанная активная мощность ПБР составляла ~7 Вт. Разрядный промежуток между электродами объемом 9,6 см³ служил для закладки семян. Расход аргона и воздуха на входе в реактор составлял ~ 200 мл/мин, температура реактора была постоянной и равнялась 25°C. Контролем служили необработанные ПБР семена.

Лабораторная всхожесть и энергия прорастания семян определялись по ГОСТ 12038-84. За результат принимались среднеарифметические значения данных анализа четырех проб по 100 семян в каждой при допустимом их расхождении, указанных в ГОСТ.

Обработка семян редиса ‘Ранний красный’ ПБР в течение 20 с в среде воздуха или аргона приводит к улучшению их посевных качеств. В среде аргона их энергия прорастания относительно контроля повышается на 23%, а лабораторная всхожесть на 31%, а при обработке в воздушной атмосфере оба показателя возрастают на 39%. Обработка семян ПБР в воздушной среде по сравнению с обработкой в среде аргона способствует получению семян более высоких посевных качеств. Это связано, вероятнее всего, с тем, что при обработке ПБР в воздушной среде образуются активные частицы кислорода и азота, не образующиеся при обработке в инертной среде аргона. Обработка ПБР семян редиса ‘Алекс F1’ не приводит к достоверным изменениям их посевных качеств.

Таким образом, возможность улучшения посевных качеств семян редиса обработкой ПБР определяется как продолжительностью и газовой средой обработки, так сортовой спецификой.

CHANGES IN THE SOWING QUALITIES OF *RAPHANUS SATIVUS* VAR. *RADICULA* SEEDS BY PLASMA TREATMENT WITH SINGLE BARRIER DISCHARGE**Minich A.S., Minich I.B.**

Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia

Key words: *Raphanus sativus* var. *radicula*, pre-sowing treatment, plasma, seed quality

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОТБОРА ТКАНЕЙ УЗОРЧАТЫХ РАСТЕНИЙ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КСИЛОГЕНЕЗА

Никерова К.М. *, Галибина Н.А., Софронова И.Н., Мощенская Ю.Л.,
Корженевский М.А., Климова А.В., Тарелкина Т.В.

Институт леса КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: knikerova@yandex.ru

Ключевые слова: пространственно-временная точка отбора тканей, АОС, АФК, *UPBEAT1*, *PAL*

Отбор тканей древесного растения на анализ с целью исследования ксилогенеза представляется достаточно трудным мероприятием. На уникальном модельном объекте – карельской березе *Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti с разной степенью узорчатости древесины, выраженной баллом, проанализирован широкий спектр биохимических и молекулярно-генетических показателей, характеризующих смещение ксилогенеза в сторону преобладания процессов паренхиматизации над дифференцировкой проводящих элементов. Растительные ткани были отобраны в радиальном ряду: F1 – с внутренней части коры, включала клетки камбиальной зоны, проводящую флоэму и часть непроводящей флоэмы; F2 – с окоренной поверхности древесины, включала клетки дифференцирующейся ксилемы; и зрелая ксилема (МХ) в следующие периоды: начало ксилогенеза (начало формирования прироста ксилемы); активное формирование ксилемы; утолщение вторичной клеточной стенки элементов ксилемы.

Отмечали повышение активностей полифенолоксидазы (ПФО) и фенилаланинаммиак-лиазы (ФАЛ) при возрастании узорчатости во всем пространственно-временном ряду, а также наиболее тесно сопряженную работу всего комплекса ферментов антиоксидантной системы (АОС) и вторичного метаболизма в F1, подтверждаемую большим количеством положительных корреляций между изучаемыми ферментами. Анализ главных компонент (РСА) показал, что именно в F1 наблюдается разделение изучаемых растений на группы по степени узорчатости в период начала прироста ксилемы, при этом активность пероксидазы (ПОД) ($r=0.94$) и содержание перекиси водорода коррелировали с баллом узорчатости древесины ($r=-0.95$). В этой же пространственно-временной точке РСА показал отличия изучаемых групп растений еще более ярко по системе *UPBEAT1*-АФК-ПОД-*PAL*. Она включала анализ транскрипционного фактора *UPBEAT1*, участвующего в регуляции распределения АФК (перекиси водорода и супероксидного радикала) и поддержании баланса между пролиферацией и дифференцировкой клеток за счет контроля активности ПОД, с одной стороны; с другой стороны, работа системы контролировалась за счет экспрессии генов *PAL*, отвечающих за образование фенольных соединений и лигнификацию. Таким образом, пространственно-временная точка – «F1, утолщение вторичной клеточной стенки элементов ксилемы» – показана наилучшей для понимания интересующих процессов.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по ГЗ Института леса Карельского НЦ РФН и гранта РФФ 22-74-00133. Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук».

STUDY THE SPATIO-TEMPORAL PARAMETERS OF TISSUE SELECTION IN FIGURED KARELIAN BIRCH PLANTS TO UNDERSTAND XYLOGENESIS

Nikerova K.M., Galibina N.A., Sofronova I.N., Moshchenskaya Yu.L.,
Korzhenevskii M.A., Klimova A.V., Tarelkina T.V.

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Key words: spatio-temporal tissue sampling, AOS, ROS, *UPBEAT1*, *PAL*

ВЛИЯНИЕ АГРОПРИЕМОМ ВЫРАЩИВАНИЯ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА В КОРОТКОРОТАЦИОННОМ СЕВООБОРОТЕ

Решетняк Н.В., Мазалов О.В.*

Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова, Луганск, Россия

*E-mail: mazalov.oleg2016@gmail.com

Ключевые слова: подсолнечник, севооборот, фотосинтез, стимулятор роста «Нива», «Нива-Люкс», урожайность

До настоящего времени наибольшее повышение урожайности подсолнечника специалистами было достигнуто благодаря улучшению условий минерального питания и водного режима растений. Борьба с сорняками осуществлялась с использованием химических мер борьбы. Такой фактор как ФАР (на фоне часто лимитирующих) не выделялся как один из основных. Продуктивность подсолнечника, как и других сельскохозяйственных культур, зависит от количества солнечной энергии, утилизированной в процессе фотосинтеза. Поэтому изучение возможностей оптимизации работы оптических систем является актуальной проблемой современной науки. Фотосинтетическая деятельность посевов подсолнечника в настоящее время активно изучается многими исследователями. С целью повышения биологического и хозяйственного урожая подсолнечника в Донбасском регионе большое значение придается мощности ассимиляционного аппарата и продолжительности его работы в условиях короткоротационного севооборота. Изучали влияние стимуляторов роста «Нива» и «Нива-Люкс» на фотосинтетический потенциал, чистую продуктивность и урожайность гибридного подсолнечника (гибрид Командор – 777) в короткоротационном севообороте при различных способах основной обработки почвы. Полевые исследования проводили в 2018–2024 гг. на опытном поле ЛГАУ. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный на лессовидном суглинке. Мощность гумусового горизонта 35–60 см. Содержание в пахотном слое гумуса 4,0–4,2%, валовое содержание азота 0,27%, фосфора 0,26%, обменного калия 18–19 мг, *pH* солевой вытяжки 6,8–7,0. Предшественником подсолнечника во все годы исследований была озимая пшеница. Повышение чистой продуктивности фотосинтеза подсолнечника отмечено нами в посевах традиционной основной обработки почвы с применением агрегата плужной обработки и 3-кратной обработки растений препаратами «Нива» и «Нива-Люкс» в фазы активного роста, образования корзинки и начала цветения. Применение стимуляторов роста «Нива» и «Нива-Люкс» во всех комбинациях приводила к увеличению площади листовой поверхности одного растения и на одном гектаре. Более высокая ЧПФ отмечена в посевах с классической системой основной обработки почвы в варианте с листовой обработкой стимуляторами роста и составляла 6,20–6,59 г/м²/сут. Установили, средняя урожайность подсолнечника в варианте с традиционной основной обработкой почвы в короткоротационном севообороте за 2018–2024 гг. составила 2,7 т/га, в варианте с минимальной обработкой почвы – 2,5 т/га.

THE INFLUENCE OF AGRICULTURAL CULTIVATION METHODS ON PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND SUNFLOWER YIELD IN A SHORT-ROTATION CROP ROTATION

Mazalov O.V., Reshetnyak N.V.

Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk, Russia

Key words: sunflower, crop rotation, photosynthesis, growth stimulator «Niva», «Niva-Lux», yield

СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛОВ В ЛИСТЬЯХ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ СРЕДНЕГО УРАЛА

Ронжина Д.А.

Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

E-mail: dar03@mail.ru

Ключевые слова: хлорофилл, светособирающий комплекс, фотосинтез, надземная биомасса, листовой индекс

Изучено содержание хлорофиллов, размеры листового полога и надземная биомасса у 44 видов растений ветландов Среднего Урала. Пигменты определяли спектрофотометрически в 80%-ном ацетоновом экстракте. Содержание хлорофиллов рассчитывали по формулам Wellburn A.R. (1994), долю хлорофиллов светособирающего комплекса (Chl_{LHC}) – согласно Думова and Golovko (2007). Скорость поглощения CO_2 определяли с помощью системы газоанализа Li-6400xt при освещенности 2000 $\mu\text{моль}/(\text{м}^2 \text{ с})$, содержании CO_2 380 ppm, влажности 50% и температуре 24°C. Высоту, диаметр и надземную биомассу растений измеряли в 10 биологических повторностях и рассчитывали отношение общей площади листьев растения к его сухой надземной массе (LAR) и индекс площади листьев (LAI) (Ronzhina, 2023).

Показано, что у двудольных растений ветландов обнаружены положительные корреляции между Chl_{LHC} и параметрами листового полога, LAR и LAI ($r = 0,63$, $p \leq 0,01$ и $r = 0,55$, $p \leq 0,05$, соответственно). Это демонстрирует, что виды с большей общей площадью листовой поверхности и, как следствие, с большей степенью самозатенения, содержат больше хлорофиллов в светособирающем комплексе. Напротив, у однодольных растений не установлены связи между Chl_{LHC} и характеристиками листового полога (LAR и LAI), но выявлены положительные корреляции между содержанием хлорофиллов и скоростью фотосинтеза ($r = 0,75$, $p \leq 0,001$), а также высотой растения ($r = 0,66$, $p \leq 0,001$). Это может обеспечить большую скорость роста однодольных прибрежно-водных растений, позволяя им занимать доминирующие позиции в растительных сообществах.

У двудольных и однодольных растений ветландов обнаружена положительная корреляция между содержанием хлорофиллов в единице площади листа и надземной биомассой ($r = 0,51$, $p \leq 0,05$ и $r = 0,68$, $p \leq 0,001$, соответственно). Отсутствие различий между двудольными и однодольными растениями по содержанию хлорофиллов на единицу площади листа (33 ± 2 и 40 ± 3 $\mu\text{кг}/\text{см}^2$, соответственно) и ассимиляционному числу (37 ± 5 и 47 ± 4 $\mu\text{моль } CO_2/(\text{г хлорофилла с})$, соответственно) указывает на аналогичную способность единицы площади листа поглощать солнечную энергию и сопоставимую функциональную активность хлорофилла у прибрежно-водных растений разных систематических групп.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы Ботанического сада УрО РАН, проект № 123112700111-4.

LEAF CHLOROPHYLL CONTENT AND PRODUCTIVITY OF WETLAND PLANT SPECIES IN THE MIDDLE URALS

Ronzhina D.A.

Institute Botanic Garden UB RAS, Ekaterinburg, Russia

Key words: chlorophyll, light harvesting complex, CO_2 uptake rate, aboveground biomass, leaf area ratio, leaf area index

ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ, ПИЩЕВОЙ ЦЕННОСТИ И БИОБЕЗОПАСНОСТИ МИКРОЗЕЛЕНИ *BRASSICA RAPA* L. С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕНЕНИЯ СВЕТОВЫХ УСЛОВИЙ В КОНЦЕ ПРОДУКЦИОННОГО ЦИКЛА

Рубаева А.А. *, Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г.

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия

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

Ключевые слова: круглосуточное освещение, продуктивность, антиоксидантная система

Для повышения пищевой ценности растений используют прием, когда в конце продукционного периода, т.е. за несколько дней до сбора урожая, некоторые факторы (освещенность, спектральный состав света или состав питательных растворов) изменяют от изначально нацеленных на максимальную продуктивность, на повышение качества растений. Показано, что применение круглосуточного освещения в конце продукционного периода может улучшить внешний вид растений, повысить содержание ценных вторичных метаболитов и улучшить вкус. Однако, важным является и вопрос энергоэффективности производства, поэтому необходимо знать, как быстро растения реагируют на изменения условий, выработкой веществ, повышающих пищевую ценность.

Целью данной работы было изучение влияния применения круглосуточного освещения в конце продукционного периода (в течение 1–4 сут до сбора урожая) на продуктивность, пищевую ценность и содержание нитратов в микрозелени рапini (*Brassica rapa* L.). Растения выращивали в климатической камере на агровате при температуре воздуха 22°C, фотопериоде 16/8 ч, освещенности ФАР 400 мкмоль/(м² с).

Проведенные исследования показали, что продуктивность растений увеличивается с ростом интеграла дневного освещения, т.е. пропорционально количеству дней с постоянным освещением. Для увеличения содержания растворимых углеводов, пролина, антоцианов и снижения содержания нитратов достаточно было постоянного освещения в течение 1–2 сут перед сбором урожая. Повышение содержания белка, флавоноидов и активности антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, аскорбатпероксидазы, гваяколпероксидазы) происходило при непрерывном освещении в течение 3–4 сут, когда у растений начинал развиваться легкий окислительный стресс, о чем свидетельствовало повышение концентрации перекиси водорода и интенсивности перекисного окисления липидов.

Таким образом, круглосуточное освещение микрозелени рапini в течение 3–4 сут перед сбором урожая способствует увеличению урожайности, повышению пищевой ценности (за счет увеличения содержания растворимых углеводов, белков и веществ с антиоксидантными свойствами) и биобезопасности в результате снижения содержания нитратов. Благодаря повышению пищевой ценности микрозелень рапini может быть использована в качестве функционального продукта питания.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

INCREASING THE PRODUCTIVITY, NUTRITIONAL VALUE AND BIOSAFETY OF MICROGREENS *BRASSICA RAPA* L. BY CHANGING LIGHT CONDITIONS AT THE END OF THE PRODUCTION CYCLE

Rubaeva A.A., Shibaeva T.G., Sherudilo E.G.

Federal Research Center “Karelian Research Center of Russian Academy of Science”,
Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

Key words: continuous lighting, productivity, antioxidant system

АЛКОГОЛЬ И ФОТОСИНТЕЗ У МИКРОВОДОРОСЛЕЙ

Стадничук И.Н.^{1*}, Большевцева Ю.В.²¹Институт физиологии растений им К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия²ФИЦ Биотехнологии, Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН, Москва, Россия

*E-mail: stadnichuk@mail.ru

Ключевые слова: *Galdieria sulphuraria*, стресс, фотогетеротрофия, фотосинтез, этанол

Мы впервые сообщаем о том, что усвоение этанола, возможное у ряда одноклеточных водорослей, является светозависимым процессом.

Исследование проведено на термоацидофильном виде *Galdieria sulphuraria*. Красные микроводоросли рода *Galdieria*, обитая в необычных для эукариот условиях горячих серных источников, обладают способностью к гетеротрофии. Для модельного вида, *G. sulphuraria*, известно до 50-ти экзогенных органических субстратов, среди которых сведения об этаноле не значатся. Этанол отличается от углеводов, полиолов и иных известных органических субстратов своим токсическим действием на клетки. Тщательный подбор концентраций позволяет выявлять как токсическое, так и метаболическое действие этанола. Как выяснилось, в темновых условиях потребление этанола (0,1%) и проявления роста культуры *G. sulphuraria* отсутствуют. Однако дыхание *G. sulphuraria* в сравнении с автотрофными клетками, находящимися в темноте в стадии переживания, возрастает, свидетельствуя о беспрепятственном проникновении этанола в клетки и его стрессорном действии. В противовес этому на свету добавка этилового спирта в сравнении с фотоавтотрофной культурой активизирует рост микроводорослей, который происходит параллельно с начавшимся расходом этанола из внешней среды. Усиление роста световой культуры с этанолом сопровождается возрастанием дыхания и затем усилением фотосинтеза. Эти процессы говорят о присоединении к стрессорному действию этанола его метаболизации с участием в энергетике клетки.

Активизация фотосинтеза *G. sulphuraria*, вероятнее всего, происходит в результате окисления этилового спирта с образованием H₂O и CO₂ и возникающей при этом возможности использования дополнительного углекислого газа хлоропластами как внутриклеточного субстрата для фотосинтеза. Усвоение этанола на свету может рассматриваться у *G. sulphuraria* как следствие фоторецепторной активации алкогольдегидрогеназы и ацетальдегиддегидрогеназы, двух последовательных ключевых ферментов в цепи метаболизации первичных спиртов, гены которых идентифицированы у *G. sulphuraria*. Потребление на свету становится выгодным энергетически, одновременно приводя к снижению внутриклеточной концентрации этанола и тем самым к уменьшению его стрессорного действия. Оно лимитируется высоким уровнем испарения спирта при повышенной температуре обитания *G. sulphuraria*. Обнаруженное потребление спирта может, очевидно, использоваться в биоремедиации отходов пищевых производств. Сведения о метаболизации этанола только на свету являются приоритетными, поскольку отдельные исследования темновых и световых условий в отношении этанола ранее не проводились и могут быть вероятным общим свойством микроводорослей.

ALCOHOL AND PHOTOSYNTHESIS IN MICROALGAE

Stadnichuk I.N.¹, Bolychevtseva Y.V.²¹Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia²Bach Institute of Biochemistry, Research Center of Biotechnology RAS, Moscow, Russia**Key words:** ethanol, *Galdieria sulphuraria*, photoheterotrophy, photosynthesis, stress

УПРАВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИОННЫМ ПРОЦЕССОМ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

Тихомиров А.А. *, Величко В.В.

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

*E-mail: alex-tikhomirov@yandex.ru

Ключевые слова: продуктивность, светокультура, фотобиологическая эффективность излучения

Среди глобальных вызовов большую тревогу вызывают экологические вызовы, среди которых видное место занимают проблемы питания человека. В этой связи большое значение имеет переход на рацион богатый растительной пищей. К сожалению, в России существует большое количество климатических зон, где затруднено или вообще невозможно производство разнообразной высококачественной растительной продукции. В первую очередь это относится к северным регионам и территориям с неблагоприятными климатическими условиями. Завоз свежей растительной продукции часто сильно затруднён, а складирование и хранение завезенной растительной продукции приводит к быстрой потере ее потребительских качеств. Общеизвестным выходом из такой ситуации является производство растительной продукции на месте с помощью метода полной светокультуры. Фактически такой режим характерен и для передовых световых технологий, реализуемых при использовании «city farm» технологий, что указывает на распространение таких технологий на средние и даже низкие географические широты.

Растущее распространение указанных световых технологий имеет важный сдерживающий фактор – это выбор наиболее эффективного в фотобиологическом отношении искусственного излучения источников света. Перспективы решения этого вопроса в настоящее время обоснованно связывают с модернизацией светодиодных облучателей, у которых большой интерес представляет совершенствование спектральных характеристик излучения как в стационарном режиме, так и при смене спектра излучения в процессе вегетации. В Институте биофизики СО РАН в настоящее время ведутся исследования по оценке фотобиологической эффективности излучения светодиодных облучателей как со стационарными, так и переменными спектральными режимами облучения на растениях как с коротким, так и длинным периодами вегетации.

В докладе рассматриваются перспективы создания высоко эффективных лучистых потоков со специализированным спектральным составом излучения люминофорных светодиодных облучателей, позволяющих оперативно менять спектр излучения в различные периоды вегетации. На примере редиса показано, что для коротко вегетирующих растений не представляется целесообразным менять спектр излучения в процессе вегетации. На примере томатов показано, что при их выращивании на рассаду наиболее эффективным является излучение, обогащенное синими лучами. При выращивании томатов на продукцию обогащение потока ФАР красными лучами на этапе плодоношения позволило резко сократить сроки плодоношения и повысить продуктивность растений.

В докладе также рассматриваются перспективы дальнейшего совершенствования спектральной эффективности излучения светодиодных облучателей при создании световых технологий нового поколения.

PRODUCTION PROCESS MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF MODERN LIGHT CULTURE

Tikhomirov A.A., Velichko V.V.

Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Key words: productivity, light culture, photobiological efficiency of radiation

РОСТ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА В ПРОВОДНИКОВЫХ ТКАНЯХ ПЕСТИКА ПРИ МЕЖРОДОВОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ ♀ *PETUNIA HYBRIDA* E. VILM. × ♂ *SALPIGLOSSIS SINUATA* RUIZ & PAV.

Ульянов А.И., Захарова Е.В.*

ФГБНУ ВНИИСБ, Москва, Россия

*E-mail: zakharova_ekater@mail.ru

Ключевые слова: *Petunia hybrida*, *Salpiglossis sinuata*, прогамная фаза оплодотворения, мужской гаметофит, межродовая несовместимость

Несовместимость половых элементов при опылении и оплодотворении у растений выражается в неспособности пыльцевых трубок (ПТ) проникать на всю длину столбика и/или осуществлять оплодотворение, хотя и пыльца, и пестик полностью функционально активны. Половая несовместимость проявляется как при межвидовых и внутривидовых скрещиваниях, так и при самоопылении. Межродовые репродуктивные барьеры (МРБ) после опыления обычно подразделяют на 2 типа: презиготические и постзиготические. Презиготические МРБ включают один или несколько из многих этапов взаимодействия пыльцы и пестика, которые начинаются с поступления пыльцы на поверхность рыльца, и завершаются оплодотворением яйцеклетки. Нарушение прорастания пыльцы, плохое проникновение пыльцы через рыльце пестика, плохой рост ПТ и задержка пыльцы в гинецее являются барьерами префертилизации.

Целью данной работы было изучить рост ПТ сальпиглоссиса (*Salpiglossis sinuata* Ruiz & Pav.) в проводниковых тканях пестика петунии (*Petunia hybrida* E. Vilm.). Для этого накануне эксперимента проводили кастрацию цветков петунии на стадии бутонов с антоцианом, изолировали кастрированные цветки. На следующий день эти цветки опыляли свежей пыльцой сальпиглоссиса. Сбор опыленных пестиков осуществляли через 2, 4, 6 и 24 часа после опыления. Материал фиксировали в уксусном спирте. Перед приготовлением препаратов для флуоресцентной микроскопии, зафиксированные пестики мацерировали 20% спиртовым раствором КОН и окрашивали анилиновым голубым (красителем, способным связываться с каллозой пыльцевых трубок). Визуализацию и измерение длины ПТ в проводниковых тканях пестика проводили на инвертированном микроскопе БиОптик СИ-300.

В результате эксперимента, мы определили, что большинство пыльцевых зерен сальпиглоссиса прорастают на рыльце пестика петунии, растут по проводниковым тканям пестика и останавливают свой рост через 6–8 часов после опыления. Через 2 часа после опыления длина ПТ составляла 448 ± 17 мкм, через 4 часа достигала длины 873 ± 28 мкм, к шести часам – 1063 ± 11 мкм и оставалась примерно на этом же уровне до 24 часов после опыления. Завязывания семян не происходило.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № FGUM-2022-0003).

THE GROWTH OF MALE GAMETOPHYTES IN THE CONDUCTIVE TISSUES OF THE PISTIL DURING INBREEDING HYBRIDISATION OF ♀ *PETUNIA HYBRIDA* E. VILM. × ♂ *SALPIGLOSSIS SINUATA* RUIZ & PAV.

All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

Key words: *Petunia hybrida*, *Salpiglossis sinuata*, progamic phase of fertilisation, male gametophyte, interspecific incompatibility

**ВЛИЯНИЕ ИНТЕГРАЛА СУТОЧНОЙ РАДИАЦИИ НА
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ РАСТЕНИЙ РУКОЛЫ (*ERUCA SATIVA* MILL)****Фадеева Ю.Ю.* , Тараканов И.Г.**ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева,
Москва, Россия**E-mail: yulia.fadeewa2011@mail.ru***Ключевые слова:** рукола, фотопериод, интеграл суточной радиации, фотосинтетический аппарат, фотосинтетические пигменты

Для достижения оптимального роста конкретных видов растений требуется обеспечить их удовлетворительное световое довольствие, для оценки его уровня применяется показатель интеграла суточной радиации (DLI), отражающий количество фотонов PAR, получаемое единицей площади посева за 24-часовой период. В данной работе изучали реакцию фотосинтетического аппарата вегетативных органов растений руколы (*Eruca sativa* Mill) сортов Виктория и Рококо в разных фотопериодических условиях. Для эксперимента использовали вегетационные камеры лаборатории искусственного климата РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, растения выращивали на фотопериодах 8 ч, 12 ч, 16 ч и 20 ч при одинаковой плотности потока фотонов 220 мкмоль/м²*с. При данной схеме свет оказывал на растения как трофическое, так и сигнальное действие в связи с разными фотопериодическими условиями.

Наибольшее значение интенсивности фотосинтеза (ИФ) было отмечено на фотопериоде 8 ч, причем ИФ у растений сорта Виктория была на 22,3% выше, чем у растений сорта Рококо, показатель ИФ при фотопериоде 20 ч снижался почти в 2 раза у обоих сортов. ИФ коррелирует с формированием ассимиляционной поверхности листьев: наибольшие значения отмечены на фотопериоде 8 ч у обоих сортов, при этом у растений сорта Виктория темпы формирования листовой поверхности были выше на 56%, чем на фотопериоде 20 ч, а у сорта Рококо соответственно на 64 %. Высокую интенсивность дыхания наблюдали на фотопериоде 20 ч, ее значение у растений сорта Виктория было на 22,4% выше, чем у растений сорта Рококо. Максимальные значения интенсивности транспирации и устьичной проводимости у обоих сортов соответствовали фотопериоду 8 ч. При анализе содержания фотосинтетических пигментов в листьях руколы наиболее высокое содержание хлорофиллов *a* и *b* у растений сорта Виктория отмечено на фотопериоде 12 ч, а у растений сорта Рококо на фотопериоде 8 ч. В условиях повышенной освещенности при фотопериодах 16 ч и 20 ч наблюдали адаптацию растений к высокой интенсивности светового потока за счет уменьшения содержания доли хлорофилла *b* у обоих сортов, что в свою очередь способствует менее эффективному накоплению биомассы растениями. На начальных этапах онтогенеза высокие значения интеграла суточной радиации стимулировали активное развитие растений, но в дальнейшем функциональные показатели активности резко снижались. Характер изменения пигментного аппарата проявил свою сортоспецифичность.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

**EFFECT OF DAILY LIGHT INTEGRAL ON THE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS OF
ARUGULA PLANTS (*ERUCA SATIVA* MILL)****Fadeeva Yu.Yu., Tarakanov I.G.**

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Key words: arugula, photoperiod, daily light integral, photosynthetic apparatus, photosynthetic pigments

РАЗЛИЧИЯ В ГОРМОНАЛЬНОЙ РЕАКЦИИ И РОСТЕ КОНТРАСТНЫХ ПО ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ШТАММА *ENTEROBACTER LUDWIGII* BLK ПРИ ДЕФИЦИТЕ ВОДЫ

Феоктистова А.В.* , Тимергалин М.Д., Четвериков С.П.

Уфимский Институт биологии Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук, Уфа, Россия

*E-mail: feoktistova.arisha@yandex.ru

Ключевые слова: *Enterobacter ludwigii* BLK, *Triticum aestivum* L., засуха, фитогормоны

Работа выполнена в лабораторных условиях на растениях мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) контрастных по засухоустойчивости сортов Екатерина и Кинельская Юбилейная и рост стимулирующего штамма бактерий *Enterobacter ludwigii* BLK, синтезировавшего 2000 нг/мл ауксинов, 12 нг/мл абсцизовой кислоты (АБК) и обладавшего нитрогеназной активностью. Пшеницу выращивали в сосудах с нормальным (60%) и дефицитным (30%) уровнями влажности почвы. Целью работы было исследование влияния ростостимулирующего штамма ризосферных бактерий, способного к синтезу высоких концентраций индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) – на гормональный статус и рост контрастных по засухоустойчивости сортов пшеницы в условиях дефицита воды.

Исследование влияния штамма ризосферных бактерий *Enterobacter ludwigii* BLK на гормональный статус и рост разных сортов пшеницы в условиях дефицита почвенной влаги показало, что один и тот же штамм бактерий оказывал фактически противоположное влияние на рост растений. Бактериальная обработка тормозила рост засухоустойчивого сорта при дефиците воды, при этом оказывала положительное действие, стимулируя рост и побегов, и корней у менее устойчивого сорта. Засуха и бактериальная обработка у сорта Кинельская приводила к накоплению АБК в растения и ИУК в корне и снижению в побеге, а бактериальная обработка растений сорта Екатерина на фоне засухи увеличивала уровень ауксина в побеге и снижала – в корне. Очевидно, бактериальная обработка индуцировала разные механизмы, регулирующие метаболизм гормонов в растениях разных генотипов. Выявление этих механизмов – важная задача дальнейших исследований. Показано, что влияние бактерий на уровень гормонов в растениях реализуется не только за счет продукции ими гормонов, но и за счет возможного влияния бактерий на метаболизм гормонов в самом растении. Из результатов, полученных в данной работе, можно сделать вывод о способности бактерий повышать устойчивость к засухе у неустойчивого, но продуктивного сорта. Между продуктивностью сортов и их устойчивостью часто проявляется отрицательная корреляция. Использование бактерий, очевидно, позволяет преодолеть этот нежелательный феномен, что находит все более широкое применение в сельском хозяйстве.

Исследование выполнено в рамках Гос. задания Минобрнауки России № 075-03-2021-607 по теме № 122031000309-7.

COMPARISON OF HORMONAL RESPONSE AND GROWTH OF WHEAT VARIETIES WITH CONTRASTING DROUGHT RESISTANCE UNDER THE INFLUENCE OF *ENTEROBACTER LUDWIGII* BLK STRAIN UNDER WATER DEFICIENCY

Feoktistova A.V., Timergalin M.D., Chetverikov S.P.

Ufa Institute of Biology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: *Enterobacter ludwigii* BLK, *Triticum aestivum* L., drought, phytohormones

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЗАПАСА УГЛЕРОДА НА КАРБОНОВОМ ПОЛИГОНЕ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

**Фомин В.В.^{1,2*}, Агапитов Е.М.^{1,2}, Рогачев В.Е.^{1,2}, Голиков Д.Ю.³, Костоусова Е.А.¹,
Переходова Е.С.¹, Коритняк Е.М.¹**

¹Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

³Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: fominvv@m.usfeu.ru

Ключевые слова: депонирование углерода, древостои, количественная оценка

С использованием аэроснимков с беспилотного летательного аппарата на участке «Урал-Карбон (Коуровка)» дешифрованы древесные породы, формирующие верхний полог лесного насаждения, а также получены данные по величине площади горизонтальной проекции кроны каждого дерева. Всего дешифровано 66064 деревьев, из них (шт.) пихта – 24383; ель – 24383; сосна – 10413; береза – 11455; лиственница – 496; сухие деревья – 2606. Возраст деревьев на заложенных 6 круговых пробных площадях для пихты варьирует от 27 до 138 лет, для ели – от 42 до 141 года, сосны – от 51 до 262 лет, березы – от 67 до 166 лет. Для Урала разработаны аллометрические модели оценки фракций фитомассы дерева для основных лесообразующих древесных пород. В качестве независимых переменных могут быть использованы значения диаметра ствола на высоте 1.3 м или диаметра проекции кроны и высота дерева. В последнем случае оценка запаса фитомассы и, соответственно, углерода возможна с использованием данных дистанционного зондирования: RGB- или мультиспектральной камеры – для определения древесной породы и площади горизонтальной проекции кроны и лидара – для определения высоты дерева. На пробных площадях была проведена оценка запаса углерода в древостое. По результатам анализа данных на пробных площадях деревья, которые не могут быть распознаны на снимках, составляют в среднем 15% от общего количества деревьев древостоя. В ходе проведенных исследований был апробирован подход к оценке запаса углерода в лесных насаждениях на основе результатов дешифрирования крон деревьев и аллометрического уравнения, входным параметром которого является диаметр ствола на высоте 1,3 метра. Последний оценивался по величине площади кроны дерева с использованием регрессионных уравнений для каждой древесной породы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (шифр темы FEUZ-2024-0011).

**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE CARBON STOCK
AT THE SVERDLOVSK REGION CARBON POLYGON USING THE RESULTS OF
GROUND-BASED MEASUREMENTS AND ULTRA-HIGH SPATIAL RESOLUTION
REMOTE SENSING DATA**

**Fomin V.V.^{1,2}, Agapitov E.M.^{1,2}, Rogachev V.E.^{1,2}, Golikov D.Yu.³, Kostousova E.A.¹,
Perekhodova E.S.¹, Koritnyak E.B.¹**

¹Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

³Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Key words: carbon sequestration, tree stands, quantitative assessment

РОСТ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА В ТКАНЯХ ПЕСТИКА РАСТЕНИЙ ЯРОВОЙ РЖИ (*SECALE CEREALE* L.) СОРТА СЕЛЕНГА ПРИ САМОНЕСОВМЕСТИМОМ И ПЕРЕКРЕСТНО-СОВМЕСТИМОМ ОПЫЛЕНИЯХ

Ханина Т.П.^{1,2*}, Бен С.¹, Голиванов Я.Ю.², Захарова Е.В.²

¹Проектный центр агротехнологий. Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», Москва, Российская Федерация

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва, Россия

*E-mail: tatihana@gmail.com

Ключевые слова: мужской гаметофит, гаметофитная самонесовместимость, яровая рожь, *Secale cereale* L., система пыльца-пестик

Рожь является перекрёстноопыляемым растением, где самоопыление предотвращается из-за функционирования механизма гаметофитной самонесовместимости (ГСН), контролируемой локусами Z и S. При ГСН пыльцевое зерно (ПЗ) прорастает на рыльце, но пыльцевая трубка (ПТ) останавливается в тканях пестика. Остановка роста ПТ вероятно обусловлена программируемой клеточной смертью (ПКС).

Понимание времени остановки ПТ необходимо для дальнейшего изучения физиологических, биохимических и молекулярно-генетических аспектов явления ГСН у ржи. Изучение литературы не дало чёткого представления о временном периоде, через который ПТ дорастает до завязи пестика и о времени остановки роста ПТ при самонесовместимом опылении у ржи. Данные варьируют от 30 минут до 2–3 часов с момента опыления до оплодотворения, вероятно, из-за сортовых различий. О времени остановки роста ПТ при самонесовместимом опылении у ржи данных практически нет.

Целью данного исследования являлось изучение динамики прорастания ПЗ и роста ПТ *in vivo* при перекрёстно-совместимом и самонесовместимом опылении растений яровой ржи (*Secale cereale* L.) сорта Селенга.

Яровую рожь выращивали в фитотроне при 21°C и световом режиме 12/12 ч. Кастрацию проводили по стандартной методике, далее опыляли своей пылью (самонесовместимое опыление) или перекрёстно (совместимое опыление), после чего фиксировали колоски через 10, 20, 30 мин и 1, 2, 3, 4 и 6 ч укусуным алкоголем. Пестики окрашивали анилиновым голубым. Визуализацию проводили с помощью флуоресцентного микроскопа БиОптик СИ-300 при длине волны 365/420 нм. В подсчете было использовано не менее 200 ПТ.

Результаты показали, что при самонесовместимом опылении длина ПТ достигала в среднем $100 \pm 7,056$ мкм через 30 мин после опыления, затем их рост прекращался. При перекрёстно-совместимом опылении ПТ дорастали до завязи через 4 часа после опыления, длина ПТ составляла $3112,56 \pm 159,54$ мкм. Использовались 95% доверительные интервалы для оценки данных.

Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем изучении ПКС в механизме ГСН у ржи.

GROWTH OF THE MALE GAMETOPHYTE IN THE PISTIL TISSUES OF SPRING RYE (*SECALE CEREALE* L.) VARIETY SELENGA DURING SELF-INCOMPATIBLE AND CROSS-COMPATIBLE POLLINATIONS

Khanina T.P.^{1,2*}, Ben S.¹, Golivanov Ya.Yu.², Zakharova E.V.²

¹All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

²Project Center for Agro Technologies, Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

Key words: male gametophyte, pollen-pistil system, gametophytic self-incompatibility, spring rye, *Secale cereale* L.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОБЕГА ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТОВ САРАТОВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Хачатуров Э.Г. *, Коробко В.В., Гребенкина А.А

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени

Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

*E-mail: sitnikov.edick@yandex.ru

Ключевые слова: *Triticum durum* Desf., длина междоузлий, побег

Объекты исследования – сорта яровой твердой пшеницы саратовской селекции: Саратовская 40, Саратовская 57, Саратовская 59, Саратовская золотистая, Людмила, Валентина, Ник, Елизаветинская, Золотая волна, Аннушка, Луч 25, Николаша, Лилек и Крассар.

Проведен морфометрический анализ главного побега растений изученных сортов. Установлено наличие сортовой специфичности по количеству фитомеров, высоте растений, суммарной длине междоузлий нижних фитомеров. У растений сортов Саратовская 40, Золотая волна в условиях 2020 г. формирование 6-го листа не наблюдалось, у других изученных сортов количество растений с 6-тью листьями от 3,3 % (Аннушка, Елизаветинская, Людмила, Луч 25) до 57 % (Саратовская 57). В 2021 и 2023 гг. формирование 6-го листа наблюдалось у всех сортов, то есть условия 2023 года были благоприятны для формирования побега: доля растений, имеющих фитомер, несущий 6-ой лист, в 2023 году значительно превышает число таких растений в 2020 и 2021 гг.

За весь период исследования минимальными по сравнению с другими сортами или близкими к ним значениями высоты побега (от 62,9±3,0 до 104,9±3,2 см) и длины колоса (от 6,4±0,3 до 7,6±0,3 см) обладал сорт Саратовская 59, а минимальными значениями высоты побега - сорт Саратовская 40 (от 68,2±3,2 до 98,3±3,4 см). Наибольшей длиной побега характеризуются сорта Золотая волна (80,2±3,2–118,4±1,8 см), а наибольшей по сравнению с другими сортами длиной колоса – сорт Елизаветинская (7,6±0,4–8,8±0,4 см).

Суммарная длина междоузлий фитомеров, несущих листья нижнего яруса, в 2020 году составляла от 15,6 см (Саратовская 57) до 27,6 см (Золотая волна), в 2021 году – от 19,7 см (Саратовская 59) до 26,9 см (Людмила). В условиях 2023 года значение данного показателя варьировало от 19,3 см (Луч 25) до 25,3 см (Золотая волна). Доля трех нижних метамеров от высоты растения в 2020–2021 гг. варьирует значительно, составляя 22–31% от всего побега и 20–35% от высоты соломины. В 2023 году анализируемый показатель составил 18–24% от высоты растения и 19–27% от высоты соломины. Установлен положительный характер корреляции между суммарной длиной междоузлий трех нижних фитомеров и высотой растения всех изученных сортов: в условиях 2020 года корреляция характеризуется как средняя или слабая, в условиях 2021 и 2023 гг. – очень слабая (исключение составили растения сорта Саратовская золотистая, у которых сила корреляции анализируемых параметров в 2021 году высокая).

Полученные данные могут быть использованы в селекционной работе для определения характеристики сорта.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF DURUM WHEAT SHOOT OF SARATOV BREEDING VARIETIES

Hachaturov E.G., Korobko V.V. Grebenkina A.A

Saratov State University, Saratov, Russia

Key words: *Triticum durum* Desf., internode length, shoot

ВЛИЯНИЕ УКРОЧЕННЫХ СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ НА РОСТ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПИЩЕВУЮ ЦЕННОСТЬ МИКРОЗЕЛЕНИ ГОРОХА

Шерудило Е.Г.* , Рубаева А.А., Икконен Е.Н., Лёвкин И.А., Титов А.Ф., Шibaева Т.Г.

ФИЦ «Карельский научный центр РАН» Институт биологии, Петрозаводск, Россия;

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

Ключевые слова: *Lathyrus oleraceus*, микрозелень, аномальные свето-темновые циклы

Несмотря на то, что горох является одной из наиболее изученных овощных культур, научных данных о пищевой ценности не семян, которые традиционно являются продуктом потребления, а побегов гороха, немного. Съедобные побеги, широко выращиваемые в Азии, приобретают популярность во всем мире как функциональный продукт для здорового питания. Ввиду высокой рыночной цены микрозелень гороха является хорошим претендентом на выращивание на фабриках растений. На фабриках растений с искусственным освещением свето-темновой цикл может иметь любую продолжительность и быть короче или длиннее естественного 24 часового цикла. Такие циклы называются аномальными. До сих пор имеется очень немного работ, оценивающих влияние коротких свето-темновых циклов на продуктивность и качество растений.

Целью настоящей работы было оценить влияние укороченных свето-темновых циклов на рост, продуктивность и пищевую ценность побегов гороха (*Lathyrus oleraceus* Lam.) на ранних этапах развития. Растения выращивали в климатических камерах со светодиодными светильниками при температуре воздуха 22°C, освещенности 150 мкмоль/(м² с) и свето-темновых циклах 8/4 ч, 4/4 ч и 4/2 ч. За контроль приняты растения, выращенные при фотопериоде 12 ч. Интеграл дневного освещения (ИДО) в контроле и в варианте 4/4 ч был на треть выше (8,6 мкмоль/(м² с)), чем в вариантах 8/4 ч и 4/2 ч (6,5 мкмоль/(м² с)).

Результаты показали, что короткие свето-темновые циклы увеличили биомассу побегов гороха, индекс робастности, содержание каротиноидов, флавоноидов, пролина, белка и растворимых углеводов, что повысило качество и пищевую ценность растений. Наибольшие эффекты отмечены при циклах 8/4 и 4/4 с различным ИДО. Короткие свето-темновые циклы не влияли на фотосинтетическую активность, содержание воды и хлорофилла, но увеличили эффективность использования воды и содержание перекиси водорода.

Учитывая, что короткие свето-темновые циклы различались по количеству поступающего к растениям света, можно предположить, что реакция растений на исследуемые аномальные свето-темновые циклы не находится в строгой зависимости от ИДО, а, возможно, связана с циркадной асинхронией, т.е. несоответствием внутренних (циркадных) биоритмов с внешним циклом свет-темнота.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

THE EFFECT OF SHORTENED LIGHT-DARK CYCLES ON GROWTH, YIELD AND NUTRITIONAL VALUE OF PEA SHOOTS

Sherudilo E.G., Rubaeva A.A., Ikkonen E.N., Levkin I.A., Titov A.F., Shibaeva T.G.

Federal Research Center «Karelian Research Center of Russian Academy of Science»,

Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

Key words: *Lathyrus oleraceus*, shoots, microgreen, abnormal light/dark cycles

ФОТОПЕРИОДИЧЕСКИЙ СТРЕСС У РАСТЕНИЙ**Шибаета Т.Г.* , Титов А.Ф.**

ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Институт биологии, Петрозаводск, Россия

E-mail: shibaeva@krc.karelia.ru*Ключевые слова:** фотопериод, свето-темновые циклы, стресс

Выращивание растений на фабриках растений с искусственным освещением с каждым годом приобретает все большие масштабы во всем мире. Однако, такое производство растительной продукции очень ресурсоемко. При этом большая часть энергии тратится на освещение. Использование энергии в «непиковые часы» является одним из путей повышения энергоэффективности производств. В связи с этим в последнее время усилился интерес к изучению реакции растений на фотопериод, или свето-темновые циклы, которые в условиях искусственного освещения не обязательно должны соответствовать 24 ч природному циклу. Теоретически, если свет использовать в течение всех 24 часов, то интенсивность света можно уменьшить на одну треть при сохранении того же интеграла дневного освещения. Основным ограничением подобной стратегии является негативная реакция многих видов на постоянный свет. В худшем случае это вызывает фотоповреждение, влекущее за собой снижение жизнеспособности и урожайности растений.

Общей чертой всех растений является их приспособление к суточному фотопериоду, при котором световой (дневной) и темный (ночной) периоды чередуются в закономерном порядке. Это позволяет правильно координировать ход метаболических процессов и определять сроки наступления этапов развития. Многочисленные исследования показывают, что значительная часть генов в геноме растений светочувствительна и они ритмично меняют свою активность в течение суток в зависимости от наличия или отсутствия света. Изучение реакции растений на искусственное освещение в последние годы привело к появлению в литературе понятия фотопериодического стресса (photoperiod stress). Показано, что внезапные изменения фотопериода, в частности, его удлинение на несколько часов, могут вызывать окислительный стресс у растений, адаптированных к короткому дню. Сила стресса при этом зависит от длительности светового периода и значительное его удлинение может быть вредным (дистресс), а непродолжительное, наоборот, может иметь положительный эффект (эустресс).

В докладе будут приведены примеры чувствительных и устойчивых к фотопериодическому стрессу растений и варианты использования различных свето-темновых циклов для повышения продуктивности и качества растений, выращиваемых в закрытых системах с искусственным освещением.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект 23-16-00160).

PHOTOPERIOD STRESS IN PLANTS**Shibaeva T.G., Titov A.F.**

Federal Research Center «Karelian Research Center of Russian Academy of Science»,

Institute of Biology, Petrozavodsk, Russia

Key words: photoperiod, light-dark cycle, stress

БИОХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЯБЛОКАХ С ПОЛЕЗНЫМИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА СВОЙСТВАМИ

Шишпарёнок А.А.^{1*}, Рогожин Е.А.^{2,3}

¹Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина Российской академии наук (ГБС РАН), Москва, Россия

²Институт биоорганической химии имени М. М. Шемякина и Ю. А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

³Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург-Пушкин, Россия

*E-mail: sansanich90@inbox.ru

Ключевые слова: *Malus*, биохимические соединения, сахара, одомашнивание

Около трех-четырёх тысяч лет назад в результате одомашнивания диких видов рода *Malus* были созданы предки культурных сортов яблони. В процессе длительного селекционного отбора менялся не только внешний вид плодов яблони, но и их биохимический состав. Основным направлением традиционной селекции было увеличение сладости плодов яблони за счёт уменьшения общей кислотности и увеличения концентрации простых сахаров. Селекционеры прошлого вели селекцию плодов яблони в направлении увеличения содержания простых сахаров для покрытия энергетических нужд в питании человека.

Однако, плоды яблони имеют в своем составе важные для здоровья человека биологически активные соединения, и направленная селекция в данном направлении является более перспективной. Плоды культурных сортов яблони имеют меньше полезных для здоровья веществ, чем плоды диких видов яблони, что было обусловлено фокусом селекционеров на сладости и размерах плодов в прошлом. При традиционном направлении селекции было важным уменьшить общую кислотность плодов культурных сортов. Одновременно при уменьшении общей кислотности также была снижена концентрация витамина С в плодах культурных сортов яблони. Кроме снижения концентрации витамина С, также снизилась концентрация таких полезных соединений как полифенолы, производные фенилпропаноидов, органические кислоты и пигменты. Известно, что молекулы указанной химической природы обладают противовоспалительными, антиоксидантными и гипогликемическими свойствами. Кроме того, аскорбиновой кислоте свойственен противораковый эффект, а многие полифенольные соединения отличаются широким спектром действий. Достоверно установлено, что полифенолы (биофлавоноиды) в плодах яблок проявляют противоаллергенные, кардиопротекторные, противоопухолевые, гипохолестеринемические, гепатопротекторные, противобактериальные, противогрибковые, противовирусные, ноотропные, нейропротекторные, нейротрофические и эстрогенные действия на организм человека.

В настоящее время селекцию плодов яблони (в том числе ускоренную) целесообразно перенаправить на повышение полезности при сохранении текущей концентрации простых сахаров и размеров плодов яблони.

BIOCHEMICAL COMPOUNDS IN APPLES WITH HEALTH-BENEFICIAL PROPERTIES

Shishparenok A.A.¹, Rogozhin E.A.^{2,3}

¹The Tsitsin Main Moscow Botanical Garden of Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russia

Key words: *Malus*, biochemical compounds, sugars, domestication

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЯГОД ГИБРИДОВ И СОРТОВ ЖИМОЛОСТИ СЕЛЕКЦИИ СВЕРДЛОВСКОЙ СЕЛЕКЦИОННОЙ СТАНЦИИ САДОВОДСТВА

Шмыгов А.В., Савина А.О.* , Макаренко С.А.

ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: anastasisavin4@yandex.ru

Ключевые слова: жимолость, ягодное сырье, гибриды, Средний Урал, биохимический состав

Жимолость синяя (*Lonicera caerulea* L.) – перспективная ягодная культура для северных регионов России. Ее достоинством является высокая адаптивность к неблагоприятным климатическим условиям, сверхранний срок созревания и богатый биохимический состав соплодий, отсутствие специализированных вредителей и болезней, что позволяет получать экологически безопасную продукцию. Селекционная работа по жимолости на Свердловской ССС ведется с 2000-х годов. В Государственный реестр селекционных достижений включен и допущен к использованию сорт – Полянка Котова.

Исследования проводили в течение 2022–2024 гг. на гибридных сеянцах 2018 г. посадки в соответствии с «Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур». Исходным материалом послужили 8 отборных сеянцев из трех семей, Полянка Котова – контроль. Дополнительно, в связи с выходом культуры в промышленное производство, учитывали технические показатели: плотность и отрыв ягод, размеры и характеристики куста, пригодные для индустриальных технологий возделывания.

Погодные условия 2022–2024 гг. отражали климатическое многообразие континентального климата на Среднем Урале, что позволило наиболее разносторонне оценить характер роста и плодоношения, а также биохимический состав отобранных генотипов. В годы исследований максимальным содержанием витамина С характеризовались соплодия гибрида 2-18-5 – 71 мг% в 2022 г., самая высокая кислотность – у 1-18-11 – 6,8 %, в 2022 г., максимальные содержание растворимых сухих веществ в ягодах гибрида 1-18-7 – 18,8 % в 2023 г., сахаров – у 2-18-6 (9,8%, 2023 г), сахарокислотного индекса у 2-18-5 – 13,4 в 2024 г. Самые низкие значения содержания сахаров (3,5%) зафиксированы у гибридов 1-18-7 и 3-18-26 в 2022 г, витамина С – у 1-18-23 – 39,3 мг% в 2023 г. Самое низкое содержание кислот отмечено в соплодиях гибрида 1-18-23 в 2024 г. – 0,5% и содержание растворимых сухих веществ – 10,6%, минимальный сахарокислотный индекс – у гибрида 1-18-11 – 0,5 в 2022 г. Стабильным по годам биохимическим составом соплодий характеризуется отборная форма 3-18-18 с коэффициентом вариации < 25%.

Полученные данные позволяют выделить наиболее перспективные сортообразцы, соплодия которых имеют богатый биохимический состав и питательную ценность не зависимо от погодных условий Среднего Урала.

BIOLOGICAL FEATURES AND CHEMICAL COMPOSITION OF BERRIES OF HYBRIDS AND VARIETIES OF HONEYSUCKLE OF THE SVERDLOVSK HORTICULTURE BREEDING STATION

Shmygov A.V., Savina A.O., Makarenko S.A.

FSBSI UrFASRC, UrBof RAS, Ekaterinburg, Russia

Key words: honeysuckle, berry raw materials, hybrids, Middle Urals, biochemical composition

Секция 3
«Растения в изменяющихся
среде и климате»

THE GROWTH AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF SCOTS PINE SEEDLINGS DURING RECOVERY FROM ZINC TOXICITY

Ivanov Yu.V.* , Ivanova A.I., Kartashov A.V., Kuznetsov V.I.*

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, 127276 Russia

*E-mail: ivanovinfo@mail.ru or vlkuzn@mail.ru

Key words: *Pinus sylvestris*, mineral nutrition, manganese, low-molecular-weight antioxidants, phenolic compounds, lignin

Despite the large number of reports on heavy metal toxicity and plant response, practically nothing is known about plant recovery after metal stress. In this work, we studied the recovery of the growth and physiological parameters of Scots pine seedlings after long-term zinc toxicity. We showed that removal of excess zinc from the nutrient solution led to rapid recovery of primary root growth but did not promote lateral root initiation and emergence from the parental roots. In contrast, the growth of the epicotyl did not increase in the recovering plants. However, an intensification of new needle formation in recovering plants indicates the restoration of shoot apical meristem activity. The recovery of root growth was accompanied by the rapid uptake of manganese, magnesium and copper. Despite the maximum rate of manganese uptake by the roots, the manganese content in the needles of the recovering plants did not reach control values during the 28 days of the experiment, unlike magnesium, iron and copper. Generally, the recovery of ion homeostasis eliminated all the negative effects on the photosynthetic pigment contents in the needles. However, these changes, along with the recovery of water content in the needles, were not accompanied by an increase in the weight gain of the recovering seedlings compared to that of the Zn-stressed seedlings. Increased levels of low-molecular-weight antioxidants were observed in the needles of Zn-stressed plants. It can be argued that the increased accumulation of phenolic compounds in the needles persists for a long period after excess zinc removal from the nutrient solution. The decreased lignin content in the roots and needles was a characteristic feature of Zn-stressed plants. Moreover, the removal of excess zinc from the nutrient solution did not lead to an increase in lignin content in the organs.

EVALUATION OF THE QUALITY OF CLUSTER BEAN (*CYAMOPSIS TETRAGONOLOBA*) SEEDS PRODUCED UNDER DROUGHT CONDITIONS USING THE ACCELERATED AGING METHOD

Margarit A.A.¹, Gurina A.K.², Kazantaeva M.², Shaukharov R.A.³, Stepanova N.V.⁴, Kamionskaya A.M.⁴, Smolikova G.N.², Vishnyakova M.A.⁵, Frolov A.A.¹

¹K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²St Petersburg University, Saint Petersburg, Russia

³ Volgograd experimental station, branch of N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Krasnoslobodsk, Russia

⁴Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology» of the Russian Academy of Sciences», Center of Bioengineering, Moscow, Russia

⁵N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint Petersburg, Russia

*E-mail: ancka.margarit@ya.ru

Key words: *Cyamopsis tetragonoloba*, accelerated aging, seed quality, water stress, drought

Global climate change represents a serious challenge for the modern agriculture and food security all over the world. The impact of drought at the reproductive stage of plant development often leads to compromised quality of seeds and a pronounced decrease in their resistance to long-term storage. This problem is of particular importance for legumes, which are especially sensitive to drought due to symbiosis with nodule bacteria. Guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) is a legume crop of significant economic importance, as its seeds are a vital source of guar gum, a strategic raw material essential for the oil industry.

It is very important to assess the impact of drought on the guar gum quality and to identify biochemical markers, which would allow breeding resistant varieties of guar. This task can be efficiently solved at the level of seeds. The method of accelerated aging assumes modeling of the natural ageing process and involves short-term incubation of seeds at elevated temperature and humidity. It is very convenient for simulation of unfavorable storage conditions to address their impact on seed growth vigor. High quality seeds are more resistant to extreme conditions and yield more stress-resistant plants.

To identify varieties with high seed quality under drought conditions, we examined the seeds of 19 guar varieties grown under both normal and water stress (drought) conditions. These varieties exhibited different levels of resistance to water deficiency in terms of both physiological parameters and seed productivity. The seeds were incubated for four days at the temperature of 45°C and the relative humidity of 86%, and then germinated to determine the rates of seeds germination, as well as the quality of the emerging seedlings.

Based on the results obtained, a list of varieties with high drought resistance accompanied by high seed quality is currently being compiled.

This work was carried out with the support of the Russian Science Foundation grant No. 23-16-00195 using equipment from the Federal Research Centre «Fundamentals of Biotechnology» of the Russian Academy of Sciences» and the K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences.

EXPLORING OF α -TOCOPHEROL ACCUMULATION IN FIELD-GROWN LOW TEMPERATURE-STRESSED *EPHEDRA MONOSPERMA***Sofronova V.E.**Institute for Biological Problems of Cryolithozone, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia*E-mail: vse07_53@mail.ru***Key words:** timing, temperature range, α -tocopherol

The study was aimed at characterizing the changes in content of α -tocopherol (α -Toc) in response to low-temperature stress during the autumn-winter period in ephedra plants, overwintering under snow cover in Central Yakutia. Our experiments covered all principal stages of woody plant cold hardening: the transition to dormancy that progressed to first stage of hardening (at temperatures from 10 to 0°C) and then to second stage (at temperatures from 0 to -10°C) as well as the winter dormancy. We wanted to check if the acclimation of *E. monosperma* to freezing stress is accompanied by the increase in the content of isoprenoid chromanols.

The experiments were carried out since July to January. The average daily air temperature decreased during this period from 24°C to the range between -30 and -46°C. The persistent lowering of mean night temperature below the 0°C occurred after September 30. The snow cover was established on October 13. In the ephedra the content of α -Toc was found to exceed the content of other lipophilic antioxidants: β -carotene (β -Car), plastoquinone/plastoquinol (PQ/PQH₂), zeaxanthin (Zx). α -Toc accounted for more than 99% of total tocopherols. Such a composition is typical for coniferous evergreen plants. In July, the content of α -Toc (\approx 500 nM/g DW) is comparable to its content in *Pinus sylvestris*. In mid-August, an increase of α -Toc by 17% was observed due to a change in the phenology of the shoots. The accumulation of α -Toc in tree leaves during their growth and development is well known. The decrease in average daily temperatures to $-1.9 \pm 2.4^\circ\text{C}$ from end of September to October 7 led to a further increase in α -Toc by about 20% compared to August. We revealed different timing and temperature range of variation for α -Toc compared to other studied lipophilic antioxidants such as β -Car, Zx, PQ/PQH₂. Maximum values of α -Toc (707 nM/g DW) were detected on October 7. On October 4 and 5 in the absence of snow cover, the plants were subjected to temperatures -2.7 ± 2.9 (day) and $-6.3 \pm 1.8^\circ\text{C}$ (night). Since α -Toc is the main scavenger of $^1\text{O}_2^*$ and lipid peroxy radicals, the increase in this antioxidant is reasonable.

In winter, elevated content of α -Toc persisted (\approx 670 nM/g DW). In contrast to evergreen Mediterranean broadleaf shrubs, the low modifications in content of α -Toc in response to a severe period of freezing temperatures distinguish *E. monosperma*. Early reduction in PSII photochemical efficiency from 0.81 to 0.56 (F_v/F_m) at near zero temperatures, the synthesis of photoprotective keto-carotenoid rhodoxanthin from β -Car, overwintering under snowpack prevent the need for a pronounced increase in α -Toc. We suggest that a non-dramatic consumption of α -Toc may occur during late autumn days with mild freezing temperatures before the establishment of snow cover, as well as during spring days with warm air temperatures after snowmelt, while the soil remains cold.

The author expresses gratitude to Prof. Kazimierz Strzalka, Dr. Beatrycze Nowicka (Jagiellonian University, Poland) for HPLC analysis of isoprenoid chromanols.

The study was financially supported by the state assignment for IBPC SB RAS, No. AAAA-A21-121012190034-2.

ВЛИЯНИЕ 24-ЭПИБРАССИНОЛИДА НА РОСТ И ГОРМОНАЛЬНЫЙ БАЛАНС РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВЛАГИ

Авальбаев А.М.^{*}, Юлдашев Р.А., Плотников А.А., Коряков И.С., Аллагулова Ч.Р.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

^{*}E-mail: avalbaev@yahoo.com

Ключевые слова: brassinosteroids, гормональная система, засуха, пшеница, экотипы

Исследование механизмов засухоустойчивости растений актуально, особенно на начальном этапе онтогенеза, во время которого они наиболее чувствительны к действию засухи. Мягкая яровая пшеница относится к ценным культурам, у которой сформировались два отличающихся по стратегии адаптации к засухе экотипа – степной волжский и лесостепной западносибирский. На ранних этапах развития для степного волжского экотипа характерен активный рост и засухоустойчивость в отличие от представителей лесостепного западносибирского экотипа, которые отличаются замедленным ростом и сниженной засухоустойчивостью. Известно, что существенный вклад в адаптацию растений к стрессам вносят изменения в их гормональном балансе. В связи с этим, нами был проведен анализ действия 24-эпибрасинолида (ЭБ) на рост и гормональный статус растений сортов Экада 70 (Э-70, степной волжский экотип) и Зауральская Жемчужина (ЗЖ, лесостепной западносибирский экотип) на начальном этапе онтогенеза в условиях обезвоживания. Засуха привела к уменьшению биомассы проростков обоих сортов, однако у сорта ЗЖ оно было выражено сильнее. Вместе с тем, выявлено защитное действие ЭБ на рост проростков Э-70, однако гормон не оказывал протекторный эффект на растения ЗЖ. У подверженных засухе проростков наблюдались существенные перестройки в гормональном балансе, связанные с накоплением АБК и значительным падением уровня ИУК и цитокининов, однако у сорта ЗЖ изменения в уровне фитогормонов были драматичнее. ЭБ-предобработанные растения Э-70 в условиях засухи характеризовались меньшим уровнем накопления АБК, а также поддержанием повышенного уровня ИУК и цитокининов относительно необработанных ЭБ проростков. В то же время предобработка ЭБ не снизила стресс-индуцированный дисбаланс фитогормонов в проростках ЗЖ. Таким образом, в условиях засухи на начальном этапе онтогенеза ЭБ оказывал протекторный эффект на рост растений сорта Экада 70 степного волжского экотипа, в основе которого лежит нормализация гормонального статуса под влиянием гормона. Вместе с тем, отсутствие защитного действия ЭБ на рост проростков сорта Зауральская Жемчужина связано с неспособностью фитогормона нивелировать индуцированной засухой существенный дисбаланс эндогенной гормональной системы у проростков лесостепного западносибирского экотипа.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00246, <https://rscf.ru/project/23-26-00246/>.

EFFECT OF 24-EPIBRASSINOLIDE ON THE GROWTH AND HORMONAL BALANCE OF WHEAT ECOTYPES WITH DIFFERENT DROUGHT ADAPTATION STRATEGIES UNDER WATER DEFICIT

Avalbaev A.M., Yuldashev R.A., Plotnikov A.A., Koryakov I.S., Allagulova Ch.R.

Institute of Biochemistry and Genetics of UFRC RAS, Ufa, Russia

Key words: brassinosteroids, hormonal system, drought, wheat, ecotypes

ВЛИЯНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И рН ЦИТОЗОЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЗОН КОРНЯ АРАБИДОПСИСА И ТАБАКА**Агеева М.Н.* , Воденеев В.А., Брилкина А.А.**

Университет Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: ageyevamaria@gmail.com

Ключевые слова: засоление, зоны корня, рН цитозоля, длина зон, длина клеток

Корень растений первым сталкивается с засолением, в результате чего в нем происходят морфологические и физиологические изменения. Одним из важнейших факторов регуляции этих процессов может быть рН цитозоля (рНцит), но влияние засоления на этот показатель на уровне клеток и тканей изучено мало. Целью данной работы стало определение морфологических изменений и изменений рНцит клеток отдельных зон корня растений арабидопсиса и табака в условиях засоления.

В работе были использованы растения арабидопсиса и табака, экспрессирующие ратиометрический рН сенсор Pt-GFP. Арабидопсис выращивали на среде Мурасиге-Скуга (МС) с 0, 50 и 75 мМ NaCl в течение 7 дней, табак – на МС с 0, 50, 100 и 150 мМ NaCl в течение 11 дней. Визуализацию клеток корня корневого чехлика (КЧ), зоны деления (ЗД), зоны растяжения (ЗР) и зоны всасывания (ЗВ) растений проводили с помощью конфокального лазерного сканирующего микроскопа Carl Zeiss LSM 710 (Carl Zeiss, Германия), лех Pt-GFP 405 и 488 нм, лем 505–525 нм. Использование белка Pt-GFP позволило оценить размеры и количество клеток разных зон корня и определить рН их цитозоля *in vivo*.

При засолении у арабидопсиса снижалась длина корней в присутствии 50 и 75 мМ NaCl, а у табака – 100 и 150 мМ. Снижение длины корней преимущественно происходило за счет сокращения ЗВ, размеры который могут изменяться за счет изменения длины клеток и/или количества. Уменьшение длины ЗВ при засолении происходило за счет снижения количества клеток как у арабидопсиса (50, 75 мМ), так и у табака (100, 150 мМ). При этом у арабидопсиса сокращение длины ЗВ, сопровождалось уменьшением длины отдельных клеток (50, 75 мМ), а у табака – увеличением (100 мМ). Вероятной причиной сокращения ЗВ табака может быть уменьшение количества клеток в ЗД и ЗР, происходящее в присутствии 100 и 150 мМ NaCl.

Увеличение длины клеток табака сопровождалось закислением рН цитозоля в ЗР и ЗВ (50, 100 мМ) на 0,4–0,6 единиц. В ЗД табака также происходило закисление на 0,3 единицы (50, 100 мМ). На среде с 150 мМ клетки ЗР и ЗВ табака не имели различий с контрольными растениями, при этом рНцит в этих клетках увеличивался.

Таким образом, нами выявлен эффект засоления на длину и рНцит клеток разных зон корня арабидопсиса и табака, что возможно свидетельствует о разных механизмах устойчивости к засолению у этих растений.

Работа поддержана грантом РФФ 22-14-00388.

THE EFFECT OF SALINITY ON THE MORPHOLOGICAL PARAMETERS AND CYTOSOLIC pH IN VARIOUS ROOT ZONES OF ARABIDOPSIS AND TOBACCO PLANTS**Ageyeva M.N., Vodeneev V.A., Brilkina A.A.**

National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Key words: salinity, root zones, cytosolic pH, root zone cell length, cell length

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ МЕТРОНИДАЗОЛА НА РОСТОВЫЕ И РЕГЕНЕРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ РАСТЕНИЙ

Алиева З.М.

Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

E-mail: zalieva@mail.ru

Ключевые слова: метронидазол, ризогенез черенков, биотестирование

Более половины антибиотиков, производимых в мире, используется в сельском хозяйстве. Широко применяется здесь, как и в медицине, метронидазол (МНЗ), или метрогил (2-метил-5-нитро-1Н-имидазол-1-этанол), эффективный в борьбе с грибковыми, вирусными и микробными поражениями растений. Он накапливается в почве и воде, при этом эффекты его кратковременного или длительного действия на растения изучены мало, литературные данные немногочисленны и неоднозначны. Для оценки уровня токсичности среды широко применяют биотестирование. Поиск чувствительных и удобных организмов и моделей - биотестов продолжается и остается актуальным. Перспективным, но недостаточно изученным в этом плане является ризогенез черенков. Чувствительность процессов регенерации к токсикантам открывает перспективы для использования изолированных органов в качестве тест-моделей.

Цель работы— сравнение эффектов метронидазола на разные морфофизиологические показатели черенков ивы (*Salix alba*) и проростков классических объектов биотестирования – кресс-салата (*Lepidium sativum*) и редиса (*Raphanus sativus*). Черенки культивировали в растворах МНЗ в широком диапазоне концентраций (50–1250 мг/л). Семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге, смоченной испытуемыми растворами. Оценивали всхожесть семян и рост проростков, выживаемость, корне- и побегообразование у черенков, сравнивали дозы, вызывающие подавление этих процессов. Для проростков кресс-салата и редиса на ранних сроках культивирования показано ингибирующее действие лишь высоких концентраций МНЗ (200 и более мг/л). Более информативным при оценке прорастания семян был показатель размеров корней у проростков. При длительном культивировании черенков ивы в растворах МНЗ они оказывали негативное действие в дозах порядка 250 мг/л и более. В краткосрочном эксперименте черенки проявили чувствительность лишь к наиболее высоким из использованных концентраций. Образование и рост корней на черенках подавлялся в растворах МНЗ сильнее, чем их выживаемость и образование на них молодых побегов. Так, рост корней тормозился уже в растворах – 100–150 мг/л и являлся наиболее чувствительным показателем. В перспективе представляет интерес поиск более чувствительных моделей, а также анализ биохимических маркеров стресса у изученных объектов.

Выражаем признательность к.х.н. Оруджеву Ф.Ф. за предоставленный для исследований материал.

THE EFFECT OF METRONIDAZOLE ON GROWTH AND REGENERATION PROCESSES OF PLANTS

Alieva Z.M.

Dagestan State University

Key words: metronidazole, rhizogenesis of cuttings, biotesting

ВЛИЯНИЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НА РЕДОКС-ПАРАМЕТРЫ ДВУХ ЭКОТИПОВ ПШЕНИЦЫ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ЗАСУХЕ**Аллагулова Ч.Р.* , Юлдашев Р.А., Авальбаев А.М.**

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Уфа, Россия

E-mail: allagulova-chulpan@rambler.ru*Ключевые слова:** пшеница, засуха, рост, окислительный стресс

Проведен сравнительный анализ ростовых и редокс параметров в проростках двух экотипов пшеницы, различающихся по стратегии адаптации к засухе (Салават Юлаев (СЮ) – лесостепной экотип и Экада-70 (Э-70) – степной экотип) при воздействии обезвоживания, индуцируемого полиэтиленгликолем 6000 (ПЭГ). Под влиянием 12%-го ПЭГ к 3 сут опыта наблюдалось торможение прорастаемости семян на 15 и 12% и падение показателей биомассы в 2- и 1,5-раза у сортов СЮ и Э-70, соответственно. При 3-х часовом воздействии стресса в 3 сут проростках Э-70 и СЮ, выявлялось 2- и 3- кратное возрастание продукции супероксидрадикала, и 3- и 3,5-кратное увеличение содержания перекиси (H_2O_2). В растениях СЮ и Э-70 стресс индуцировал быстрое 2 и 2,5-кратное повышение активности супероксиддисмутазы, близкое по уровню повышение активности пероксидазы, с последующей активацией каталазы. Эти данные указывают на более высокую устойчивость экотипа Э-70 к окислительным повреждениям, что также подтвердилось при анализе накопления малонового диальдегида и выхода электролитов из тканей проростков обоих экотипов. Таким образом, в условиях обезвоживания в растениях СЮ наблюдались существенные нарушения редокс-гомеостаза, что отразилось в значительном снижении интенсивности роста. В то время как растения экотипа Э-70 характеризовались большей устойчивостью к дефициту влаги, что может быть обусловлено меньшим уровнем стресс-индуцированных окислительных повреждений.

Работа выполнена за счет средств РНФ, грант № 23-26-00246, <https://rscf.ru/project/23-26-00246/>.

INFLUENCE OF DEHYDRATION ON REDOX-PARAMETERS OF TWO WHEAT ECOTYPES, DIFFERING IN DROUGHT RESISTANCE**Allagulova Ch.R., Yuldashev R.A., Avalbaev A.M.**

Institute of Biochemistry and Genetics – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Key words: wheat, drought, growth, oxidative stress

ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ШУНТА γ -АМИНОМАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ ПРИ АДАПТАЦИИ КЛЕТОЧНОГО МЕТАБОЛИЗМА К ЗАСОЛЕНИЮ В ЛИСТЯХ *ZEA MAYS* L.

Анохина Г.Б.* , Шахов З.Н., Москвина П.П., Плотникова Е.В., Епринцев А.Т.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

*E-mail: dowi2009@mail.ru

Ключевые слова: ГАМК-шунт, глутаматдекарбоксилаза, ГАМК-трансаминаза, сукциниловыйсемиальдегиддегидрогеназа, засоление

Повышение содержания солей в почвенном покрове существенно отражается на метаболизме растительных организмов, произрастающих на засоленных участках. Изменения в клеточном гомеостазе сопряжены с нарушением водно-солевого баланса, развитием осмотического, а в дальнейшем ионного и окислительного стрессов. Для адаптации растительной клетке необходима «реорганизация» метаболических потоков, направленная на компенсацию негативного влияния солей и дополнительную энергизацию. Целью работы было исследовать изменения функционирования ферментов ГАМК-шунта в листьях кукурузы в условиях засоления. Показано, что инкубация проростков кукурузы *Zea mays* L. в 150 мМ растворе NaCl приводит к активации обходного пути цикла трикарбоновых кислот – шунта γ -аминомасляной кислоты. Выявлены изменения функционирования ферментов, обеспечивающих поддержание ГАМК – шунта: глутаматдекарбоксилазы (ГДК, КФ 4.1.1.15), ГАМК-трансаминазы (ГАМК-Т, КФ 2.6.1.19) и сукцинат семиальдегиддегидрогеназы (ССАДГ, КФ 1.2.1.16). В первые двенадцать часов стрессового воздействия отмечается увеличение общей ферментативной активности глутаматдекарбоксилазы, обеспечивающей декарбоксилирование глутамата с образованием ГАМК. Активация ГДК сопряжена с увеличением относительного уровня транскриптов генов *GAD1* и *GAD2*, кодирующих глутаматдекарбоксилазу. Кроме того, в первый час воздействия значения общей ферментативной активности ГАМК-трансаминазы увеличиваются в 1.5 раза. К 24 часу эксперимента отмечается рост исследуемого показателя в 6.5 раз. Изменения в функционировании данного фермента обусловлены слаженной и последовательной работой генов *GTA1* и *GTA2*. Поддержание ЦТК за счёт поставки с сукцината, образованного из сукцинилового семиальдегида, при засолении обеспечивается индукцией гена *SSADH1*, кодирующего ССАДГ.

Таким образом, солевой стресс вызывает активацию ГАМК-шунта за счёт увеличения ферментативной активности глутаматдекарбоксилазы, ГАМК-трансаминазы и сукциниловой семиальдегиддегидрогеназы для дополнительной энергизации клетки, обеспечивающей адаптацию клеточного метаболизма. Регуляция исследованных ферментных систем осуществляется на генетическом уровне за счёт изменения экспрессии их генов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2023-2025 годы, проект FZGU – 2023-0009.

CHANGES IN THE FUNCTIONING OF THE γ -AMINOBUTYRIC ACID SHUNT DURING ADAPTATION OF CELLULAR METABOLISM TO SALINITY IN LEAVES OF *ZEA MAYS* L.

Anokhina G.B., Shakhov Z.N., Moskvina P.P., Plotnikova E.V., Eprintsev A.T.

Voronezh State University, Voronezh, Russia

Key words: GABA-shunt, glutamate decarboxylase, GABA-transaminase, succinic semialdehyde dehydrogenase, salinity

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ, НОКАУТИРОВАННОГО ПО ГЕНАМ *NUD* И *WIN1*, ПРИ ДЕЙСТВИИ СТРЕССОВЫХ ФАКТОРОВ

Антонова Е.В.^{1,2*}, Шималина Н.С.^{1,2}, Короткова А.М.^{2,3},
Колосовская Е.В.^{2,3}, Герасимова С.В.^{2,3}, Хлесткина Е.К.^{2,3}

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова,
Санкт-Петербург, Россия

³Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

*E-mail: selen@ipae.uran.ru

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, *NUD*, *WIN1*, нокаутные линии, стресс-реакции

Гены *NUD* и *WIN1* играют регуляторную роль в организации кутикулы ячменя (*Hordeum vulgare* L.). Ген *NUD* кодирует *Apeta1* 2/фактор ответа этилена (AP2/ERF), контролирующий формирование цементирующего слоя между перикарпом, леммами и палеа. Делеция в локусе *HvNUD* приводит к формированию голозерного ячменя. Мутантные по гену *WIN1* (*WAX INDUCER 1*) растения характеризуются дефицитом воска на поверхности листьев, листовых влагалищ и стеблей на стадии колошения. Поскольку кутикула является важнейшим эволюционным приобретением растений для защиты от факторов окружающей среды, нокаут (КО) каждого гена может изменить способность ячменя адаптироваться к неблагоприятным условиям среды.

Предполагаемый плейотропный эффект мутаций генов *HvNUD* или *HvWIN1* можно оценить при действии разных стрессоров. Поскольку начальные стадии развития являются самыми чувствительными, мы оценили устойчивость *nud* и *win1* КО линий ячменя к острому гамма-облучению, засолению, тяжелым металлам, засухе и низким температурам на стадии проростков при лабораторном культивировании. Всего было оценено более 30 физиологических и морфологических показателей; в экспериментах приняло участие более 5500 семян.

Для КО линий *nud* была характерна низкая по сравнению с КО линиями *win1* масса семян, корней и проростков, средняя и суммарная длина корней. Соотношение длины вершка к средней и/или суммарной длине корней проростков КО линий *nud* было выше, чем у *win1* и линии дикого типа (WT). К возможным плейотропным эффектам нокаута гена *HvNUD* при действии стрессоров можно отнести стимулирование роста корней, а гена *HvWIN1* – сохранение высокой длины корней по сравнению с другими линиями, в стабильном уровне изменчивости большинства морфологических показателей и появлении близнецов. Действие разных стрессоров на *nud* и *win1* КО линии ячменя выявило различия в физиологических эффектах у нокаутированных линий и линии WT.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (21-66-00012).

VARIABILITY OF PHYSIOLOGICAL PARAMETERS IN *NUD* AND *WIN1* KNOCKOUT BARLEY LINES UNDER STRESS CONDITIONS

Antonova E.V.^{1,2}, Shimalina N.S.^{1,2}, Korotkova A.M.^{2,3}, Kolosovskaya E.V.^{2,3},
Gerasimova S.V.^{2,3}, Khlestkina E.K.^{2,3}

¹Institute of Plant and Animal Ecology, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

²N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

³Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Key words: *Hordeum vulgare*, *NUD*, *WIN1*, knockout lines, stressors, physiological effects

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОВОДЯЩИХ ТКАНЕЙ СТВОЛА *PINUS SYLVESTRIS* L. В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ**Афошин Н.В.* , Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Семенова Л.И., Иванова Д.С.**

Институт леса — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

*E-mail: afosh.nik843@gmail.com

Ключевые слова: камбий, ксилема, флоэма, температура

Камбий является основной вторичной меристемой, принимающей участие в формировании древесины и коры ствола. Продолжительность периода камбиальной активности и сроки прохождения её основных фаз зависят от климата, однако в течение вегетационного периода погодные условия могут влиять на интенсивность прохождения отдельных фаз. Цель работы заключалась в изучении влияния погодных условий на формирование проводящих тканей (флоэмы и ксилемы) у деревьев сосны в условиях южной Карелии.

Работу проводили на территории Петрозаводской лесосеменной плантации I порядка (15 км от г. Петрозаводск, Республика Карелия). Возраст деревьев составлял 45 лет. Образцы отбирали с 3 деревьев, формировавших узкие приросты ксилемы (группа I), и 3 деревьев, формировавших широкие приросты ксилемы (группа II), в предыдущие 5 лет. Отборы тканей проводили с 5 мая по 5 октября 2022 года и с 19 апреля по 11 октября 2023 года, в 7-дневной динамике в апреле, мае и июне и в 10-дневной динамике в июле и августе. В сентябре и октябре образцы были отобраны однократно. Фиксацию тканей и микроскопический анализ образцов проводили по общепринятым методикам. Погодные данные были получены для ближайшей метеостанции (WMO ID 22820) с сайта <https://rp5.ru>.

В 2022 году на территории исследования среднемесячная температура воздуха в летние месяцы была на 1,2–3,3°C выше климатической нормы, количество осадков составляло от 89% (июнь) до 179% (май) от климатической нормы. В 2023 году температура воздуха была на 0,5–1,5°C ниже нормы, наблюдался значительный дефицит осадков в мае и июне, в июле осадки составили 189% от климатической нормы.

У обеих групп деревьев процесс формирования ксилемы был более чувствительным к изменению погодных условий, чем процесс формирования флоэмы. Были выявлены значимые положительные корреляции между средними дневными и ночными температурами воздуха за предшествующие отбору 10 дней и скоростью отложения камбием новых клеток ксилемы. При этом температуры воздуха и почвы оказывали умеренное отрицательное влияние на процессы деления и растяжения клеток ($r = -0,54$ и $r = -0,48$ для групп I и II, соответственно). В то же время, наблюдалась сильная положительная связь между температурами воздуха и почвы и процессом формирования вторичной клеточной стенки трахеид ($r = 0,85$ и $r = 0,83$ для групп I и II, соответственно).

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН, номер госрегистрации - 121061500082-2).

INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE FORMATION OF TRUNK CONDUCTING TISSUES OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN CONDITIONS OF SOUTHERN KARELIA**Afoshin N.V., Tarelkina T.V., Serkova A.A., Semenova L.I., Ivanova D.S.**

Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Key words: cambium, xylem, phloem, temperature

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ МЕЛАТОНИНА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ

Бойко Е.В.^{*}, Головацкая И.Ф., Бойко Е.Г., Кадырбаев М.К.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

^{*}E-mail: caterinasoloveva@gmail.com

Ключевые слова: мелатонин, *Cucumis sativus*, спектральный свет, засуха

Растения, ведущие прикрепленный образ жизни, постоянно подвергаются действию неблагоприятных факторов, негативно влияющих на рост и развитие растений. Одним из таких факторов является засуха. Способность растения адекватно отвечать на неблагоприятное воздействие зависит от эффективности защитных механизмов. Среди эндогенных систем регуляции растений выделяют гормональную систему. Мелатонин (Мел) – эволюционно консервативная, полифункциональная молекула индольной природы, с выраженными антиоксидантными свойствами – представляет собою потенциальный стресс-протектор и гормон растений. Целью исследования было изучить роль Мел в формировании засухоустойчивости 18-дневных растений огурца в зависимости от условий освещения. Объектом исследования были растения *Cucumis sativus* L. раннего сорта Изящный. Для имитации умеренной засухи использовали 8% раствор полиэтиленгликоля 6000 (ПЭГ 8). Длительность действия стресс-фактора и обработки Мел (1 мкМ) составила 3-е суток. Культивирование растений осуществляли под светом светодиодных ламп с разным соотношением плотности потока фотонов синего, зелёного и красного участков спектра ФАР – 2:3:1 (2СК) и 1:3:2 (С2К). В результате проведенных исследований установили, что в условиях засухи увеличивалась интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в корнях и листьях растений огурца при культивировании под 2СК в 2 и 4 раза соответственно, в то время как для С2К отмечено снижение интенсивности ПОЛ в корне на 30%, и увеличение данного показателя на 84% в листьях растений огурца. Внесение в питательную среду 1 мкМ Мел на фоне действия засухи восстанавливало уровень ПОЛ до контрольных значений вне зависимости от условий освещения. Анализ содержания антоцианов показал, что в листьях огурца, выращенных при большей доле красного света в общем спектре излучения данный показатель был выше в 2 раза. В ответ на действие засухи происходило увеличение уровня антоцианов под 2СК в 4 раза, в свою очередь под С2К – на 25%. Внесение в питательную среду Мел на фоне засухи снижало уровень антоцианов в 2 раза под 2СК и не влияло на данный показатель под С2К. Таким образом показана разная эффективность действия Мел в зависимости от условий освещения, кроме того, продемонстрирован протекторный эффект Мел в ответе растений огурца на действие засухи.

EFFECTIVENESS OF MELATONIN ON THE FORMATION OF DROUGHT RESISTANCE OF CUCUMBER PLANTS DEPENDING ON LIGHTING CONDITIONS

Boyko E.V., Golovatskaya I.F., Boyko E.G., Kadyrbaev M.K.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Key words: melatonin, *Cucumis sativus*, spectral light, drought

НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ФАКТОРЫ, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ПРОРАСТАНИЕ ПЫЛЬЦЫ НА ВЛАЖНОМ РЫЛЬЦЕ

Брейгина М.А. *, Кочкин Д.В., Лунёва О.Г., Бабушкина К.О.

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

*E-mail: pollen-ions@yandex.ru

Ключевые слова: репродукция растений, пыльцевое зерно, рыльце пестика, АБК, АФК

Взаимодействие между мужским гаметофитом и женскими органами цветка – важная фундаментальная и практически значимая проблема. С одной стороны, такое взаимодействие – частный случай межклеточного диалога у растений, который потенциально может расширить сложившиеся представления о сигналинге. С другой стороны, от взаимодействия между пыльцой и тканями рыльца – первого этапа прогамной фазы – зависит успешное оплодотворение и, в конечном итоге, получение урожая плодовых и зерновых культур, а также семенное размножение важных для человека цветковых растений в изменяющихся и зачастую неоптимальных условиях окружающей среды.

Механизмы контроля прорастания пыльцевых зёрен различаются у растений с влажными и сухими рыльцами. В первом случае на пыльцу воздействуют факторы, растворенные в жидкости – рыльцевом экссудате. Влажные рыльца характерны для растений из многих семейств (Лилейные, Спаржевые), а в некоторых случаях являются единственным вариантом для всех представителей семейства (Орхидные, Паслёновые, Бромелиевые). Разработанные нами методы сбора и анализа экссудата, выделяемого в очень малых количествах на поверхность фертильных рылец, позволили определять присутствие целого ряда веществ, а для некоторых классов веществ – проводить количественную оценку их содержания. Наш анализ был в первую очередь направлен на низкомолекулярные соединения, такие как АФК, неорганические ионы, фитогормоны, производные полиаминов. Для анализа применялся комплекс методов, включая ЭПР-спектроскопию, ВЭЖХ с масс-спектрометрией, спектрофлуориметрию, спектрофотометрию и другие. В исследовании участвовали представители перечисленных выше семейств и некоторых других систематических групп.

Полученные результаты позволили, с одной стороны, выявить универсальные паттерны регуляторного воздействия, свойственные в той или иной мере всем изученным растениям. В частности, универсальным свойством оказалась регуляция прорастания пыльцы с помощью АФК и их активная продукция на фертильных рыльцах, а также на более ранних этапах развития рылец. С другой стороны, были обнаружены важные различия в чувствительности пыльцевых зёрен к регуляторным факторам, например, фитогормонам, главным из которых была абсцизовая кислота (АБК). Оптимальная концентрация АБК для прорастания пыльцы соответствовала уровню продукции данного гормона тканями рыльца. В частности, у табака – представителя паслёновых – в экссудате накапливалась абсцизовая кислота, которая в низких концентрациях стимулировала прорастание пыльцы, у лилии же подобного не наблюдалось.

Полученные данные в дальнейшем можно будет применять для оптимизации репродуктивного процесса в неблагоприятных условиях среды за счёт обработки цветков низкомолекулярными факторами. На данный момент технологии находятся в стадии разработки. *Работа поддержана грантом РНФ, проект 21-74-10054.*

LOW-MOLECULAR FACTORS CONTROLLING POLLEN GERMINATION ON WET STIGMA

Breygina M.A., Kochkin D.V., Luneva O.G., Babushkina K.O.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Key words: plant reproduction, pollen grain, stigma of a pistil, ABA, ROS

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЛАТОНИНА И АБК ПРИ ФОТООКИСЛИТЕЛЬНОМ СТРЕССЕ

Бычков И.А. *, Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В.

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

*E-mail: Ivan.a.b@mail.ru

Ключевые слова: мелатонин, фотоокислительный стресс, АБК, антиоксидантная активность

Исследование молекулярных механизмов, связывающих мелатонин с гормонами растений, представляет особый интерес, учитывая регуляторные функции мелатонина, в том числе прямое участие в модуляции экспрессии генов. В нашем исследовании у дикого типа и мутантов по генам синтеза и сигналинга мелатонина было изучено влияние мелатонина на активность одного из генов фермента синтеза АБК *ABA3*, гена фермента-участника катаболизма АБК *CYP707A1*, генов цепи передачи сигнала АБК *ABI1*, *ABI2* и генов транскрипционных факторов *ABI4* и *ABI5*. Все эти гены у дикого типа значительно активировались фотострессом. При обработке мелатонином при фотострессе увеличение экспрессии генов было выражено в гораздо меньшей степени, исключением являлся ген катаболизма *CYP707A1*, накопление транскриптов которого оставалось высоким при действии регулятора. У мутанта по гену синтеза мелатонина *asmt*, в отличие от дикого типа, ответ на воздействие избыточного света был выражен слабее для части исследованных генов, возможно, недостаток мелатонина способен влиять на метаболизм и/или сигналинг АБК, хотя регуляция генов мелатонином была сходна с регуляцией у дикого типа. У мутантов по сигналингу мелатонина реакция генов, связанных с АБК, на световой стресс была аналогична реакции дикого типа, однако экзогенный мелатонин не влиял на их экспрессию. Исключением являлся ген *ABI4*, который у мутантов по трансдукции сигнала мелатонина не регулировался ни стрессом, ни мелатонином. Возможно, кодируемый им *транс*-фактор является ключевым звеном во взаимодействиях АБК и мелатонина. Было изучено также влияние АБК на гены синтеза и сигналинга мелатонина. У дикого типа АБК в нормальных условиях не влияла на экспрессию гена *COMT*, немного снижала активность гена *SNAT* и резко подавляла активность гена *ASMT*. Сходной реакция была и у других генотипов. В условиях стресса АБК не влияла или немного повышала экспрессию всех генов синтеза мелатонина, однако ген *ASMT* у мутантов по сигналингу мелатонина подавлялся гормоном еще сильнее по сравнению с необработанными растениями при избыточном освещении. Также у дикого типа и мутанта *asmt* АБК поддерживала на более высоком уровне, вплоть до контрольных значений, активность экспрессии генов *CAND2* и *GPA1*. Использование мутанта по гену синтеза АБК *aba3* и двух мутантов по генам *транс*-факторов *abi4* и *abi5* позволило выявить особую регуляцию гена *ASMT* у мутанта *abi4*. Данный ген значительно активировался стрессом, однако реакции на АБК, характерной для дикого типа и других мутантов, не наблюдалось. Это, позволяет предполагать возможность вовлечения данного *транс*-фактора в регуляцию гена *ASMT*, и говорит о возможном механизме регуляции абсцизовой кислотой метаболизма мелатонина.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-14-00011.

INTERACTION OF MELATONIN AND ABA IN PHOTO-OXIDATIVE STRESS

Bychkov I.A., Kudryakova N.V., Kusnetsov V.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: melatonin, photo-oxidative stress, ABA, antioxidant activity

ВЛИЯНИЕ *HERBASPIRILLUM* SPP. НА РОСТ И АНТИОКСИДАНТНУЮ СИСТЕМУ РАННИХ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

Величко Н.С. *, Федоненко Ю.П.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ СНЦ РАН, Саратов, Россия

*E-mail: velichko_n@ibppm.ru

Ключевые слова: рост-стимулирующие бактерии, *Herbaspirillum*, GFP, *Triticum aestivum*, антиоксидантная система

Современное возделывание злаковых культур ассоциировано с использованием широкого спектра агротехнологий, включающих внесение в почву удобрений, регуляторов роста, инсектицидов, фунгицидов, микроэлементов, аминокислот, защиты от сорных растений и т.д. Эти мероприятия неизбежно приводят к возрастанию химической нагрузки на почву, для снижения которой могут быть эффективны «зеленые технологии» и применение биоудобрений на основе PGPR.

Грамотрицательные Betaproteobacteria рода *Herbaspirillum* представляет собой разнообразную группу, повсеместно распространенных в окружающей среде микроорганизмов. На настоящий момент род *Herbaspirillum* насчитывает 13 валидированных видов, в составе которых широко представлены почвенные бактерии, образующие с растениями эффективные ассоциативные симбиозы. Формирование симбиотической системы *Herbaspirillum*-растение сопровождается изменением физиологического статуса, увеличением скорости роста и интенсивности обмена веществ у растения-хозяина. Фенотипическая и генетическая пластичность, наряду с выраженной гибкостью метаболической активности, позволяют рассматривать *Herbaspirillum* spp. в качестве перспективного объекта для применения в области агробиотехнологии. Отмечено, что стимулирующее рост и развитие действие гербаспирилл на растения реализуется двумя основными способами: непосредственной «подачей» макроорганизму соединений, синтезируемых самими микроорганизмами (фитогормонов, регуляторов роста, сидерофоров и других биологически активных соединений), либо косвенно посредством индукции системной устойчивости, улучшения структуры почвы, уменьшением степени воздействия ксенобиотиков, синтезируя широкий спектр ферментов (целлюлазу, пектиназу, ксиланазу, амилазу и др.).

С целью визуального изучения ассоциативного взаимодействия эндофитных и эпифитных представителей гербаспирилл с растениями, их способности прикрепляться к поверхности, а также характера колонизации тканей растения-хозяина на ранней стадии развития в экспериментальных условиях, нами получены штаммы бактерий, меченные зеленым флуоресцентным белком, исследованы пути колонизации ими ранних проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Проведена комплексная характеристика биохимических показателей растений пшеницы ризосферным и эндофитным штаммами. Показано изменение содержания пролина, малонового диальдегида и активности каталазы. Отмечена способность исследуемых штаммов оказывать влияние на стимуляцию иммунитета и развитие устойчивости растений пшеницы к фитопатогенным грибам.

EFFECT OF *HERBASPIRILLUM* SPP. INOCULATION ON THE GROWTH OF WHEAT SEEDLINGS AND ON THEIR ANTIOXIDANT SYSTEM

Velichko N.S., Fedonenko Yu.P.

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia

Key words: plant-growth-promoting bacteria, *Herbaspirillum*, GFP, *Triticum aestivum*, antioxidant system

**КОНЬЮГИРОВАННЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ ЛИПИДОВ В ПОБЕГАХ
ГИПЕРАККУМУЛЯТОРА ЦИНКА *ARABIDOPSIS HALLERI*****Воронков А.С.*, Иванова Т.В., Серёгин И.В., Кожевникова А.Д.**

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

*E-mail: voronkov_as@mail.ru

Ключевые слова: полиненасыщенные жирные кислоты, α -камлоленовая кислота, α -паринаровая кислота

Цинк (Zn) является одним из важнейших микроэлементов, который контролирует множество клеточных процессов. Он входит в состав ферментов, участвующих в метаболизме нуклеиновых кислот, белков и липидов, опосредованно регулируя деление и рост клеток. Однако высокие концентрации Zn так же могут оказывать и токсичное воздействие на организм растений, при этом устойчивость разных видов сильно колеблется. Так как первым барьером, и возможной мишенью действия тяжелых металлов (в т. ч. Zn), является плазмалемма, мы предприняли исследование, направленное на установление корреляции изменений состава жирных кислот (ЖК) липидов мембраны при действии нескольких концентраций Zn. В качестве модельного объекта использовали гипераккумулятор цинка *Arabidopsis halleri*, который способен накапливать Zn в побегах и произрастать в широком диапазоне его концентраций, в нашей работе мы вносили 0 мкМ (контроль), 5 мкМ, 50 мкМ и 500 мкМ.

Следует отметить, что ткани побегов *A. halleri* контрольного варианта содержали редкую конъюгированную α -камлоленовую кислоту (*цис*-9,*транс*-11,13-18:3), которая не была найдена в тканях корней. При внесении в среду культивирования Zn, мы обнаружили в побегах появление другой редкой конъюгированной α -паринаровой кислоты (*цис*-9,*транс*-11,13,*цис*-15-18:4), причем её концентрация возрастала прямопропорционально дозе тяжелого металла. Считают, что появление данных ЖК способно значительно разрыхлять мембрану (т.е. повышать её проницаемость) без удлинения ацильной цепи за счет нарушения стереометрии расположения двойных связей относительно неконъюгированных ЖК остального липидного окружения. При этом возникает вопрос: какие мембраны обогащаются конъюгированными ЖК при накоплении Zn? Исходя из того, что в корнях *A. halleri* конъюгированные ЖК не найдены, а также потому, что известна способность 9,11,13,15-18:4 ЖК выступать в качестве протектора мембраны тилакоидов хлоропластов, за счет свободного перемещения электронов в общем π -электронном облаке сопряженных двойных связей, было бы логично предположить, что появление 9,11,13,15-18:4 ЖК при воздействии увеличивающихся доз Zn является стресс-реакцией, направленной на защиту фотосинтетической системы. Однако данная гипотеза требует дальнейших экспериментальных подтверждений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700043-9).

**CONJUGATED FATTY ACIDS OF LIPIDS IN THE SHOOTS OF THE ZINC
HYPERACCUMULATOR *ARABIDOPSIS HALLERI*****Voronkov A.S., Ivanova T.V., Seregin I.V., Kozhevnikova A.D.**

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: polyunsaturated fatty acids, α -eleostearic acid, α -parinaric acid

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ОКСИДАЗА ВЛИЯЕТ НА МЕТАБОЛИЗМ АСКОРБАТА В РАСТЕНИЯХ *ARABIDOPSIS THALIANA*: ВОЗМОЖНЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОН-ТРАНСПОРТНЫМИ ПУТЯМИ В МИТОХОНДРИЯХ**Гармаш Е.В.* , Силина Е.В., Белых Е.С., Шелякин М.А., Малышев Р.В.**Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,
Сыктывкар, Россия*E-mail: garmash@ib.komisc.ru**Ключевые слова:** альтернативная оксидаза, метаболизм аскорбата, L-галактоно-1,4-лактондегидрогеназа, повышенная освещенность, энергетический статус

В электрон-транспортной цепи митохондрий, помимо основного энергогенерирующего цитохромного пути (ЦП) и «классических» нефосфорилирующих путей, основным из которых является альтернативный путь (АП) через терминальную альтернативную оксидазу (АОХ), функционируют альтернативные дегидрогеназы «с короткой цепью переноса электронов». В частности, L-галактоно-1,4-лактондегидрогеназа (L-GalLDH) катализирует последний этап синтеза аскорбата (Asc), передавая электроны на цитохром *c* и поддерживая путь «альтернативного восстановления цитохрома *c*». В данной работе с использованием мутантных линий *Arabidopsis thaliana* изучены некоторые аспекты взаимосвязи между метаболизмом Asc, функционированием АОХ и L-GalLDH в условиях повышенной освещенности (400 мкмоль м⁻² с⁻¹) в течение 8 ч. При воздействии фактора в антисмысловой по *AOX1a* линии (AS-12) уменьшение относительного содержания восстановленного Asc за счет повышения активности аскорбатпероксидазы сопровождалось накоплением пула другого высокоэффективного антиоксиданта - глутатиона. В линии с дефицитом витамина С (*vtc2*) экспрессия *VTC2* и пул Asc были ожидаемо низкими, а при влиянии повышенной освещенности содержание дегидроаскорбата (DHA) увеличилось, при этом выявлена незначительная активация АОХ и L-GalLDH. В линии *vtc2* в условиях ингибирования АОХ повышенная освещенность индуцировала накопление DHA и увеличение активности ЦП. Интересно, что подавление АОХ в линии AS-12 отрицательно влияло на содержания АТФ, тогда как вовлечение АОХ в растениях *vtc2* улучшало энергетический баланс при стрессе. Обсуждаются возможные механизмы взаимодействия митохондриальных электрон-транспортных путей, опосредованных через синтез Asc, для оптимизации энергетического баланса и метаболизма Asc при адаптации растений к повышенной освещенности. Предложено рассматривать роль АП в увеличении энергетической эффективности дыхания при стрессе.

Работа выполнена в рамках темы госбюджетных НИОКТР «Фотосинтез, дыхание и биоэнергетика растений и фототрофных организмов (физиолого-биохимические, молекулярно-генетические и экологические аспекты)», регистрационный № 1021062311434-4-1.6.11;1.6.19.

EFFECTS OF ALTERNATIVE RESPIRATION ON ASCORBATE METABOLISM IN *ARABIDOPSIS THALIANA*: POSSIBLE RELATIONSHIPS BETWEEN ELECTRON-TRANSPORT PATHWAYS IN MITOCHONDRIA**Garmash E.V., Silina E.V., Belykh E.S., Shelyakin M.A., Malyshev R.V.**Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar, Russia**Key words:** alternative oxidase, ascorbate metabolism, L-galactone-1,4-lactone dehydrogenase, high light, energy status

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ОБЩЕГО УРОВНЯ СТРЕССА, ИСПЫТЫВАЕМОГО РАСТЕНИЯМИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Гордеева И.В.

ФГБОУ ВО Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: ivgord@mail.ru

Ключевые слова: коэффициент флуктуирующей асимметрии, листовые пластины, неблагоприятные факторы окружающей среды, экологический стресс

В условиях нарастающего антропогенного прессинга, последствия которого проявляются в виде целого ряда негативных явлений, таких как интенсивное загрязнение атмосферного воздуха, почвенного покрова и гидросферы, а также наблюдаемые в настоящее время резкие климатические изменения, растения испытывают серьезный стресс, неблагоприятным образом влияющий на физиологические процессы. В качестве одного из количественных показателей этого явления используется величина коэффициента флуктуирующей асимметрии — интегрированная величина, масштаб которой определяется целым рядом факторов (из которых сложно выделить главный), но позволяет судить об общем уровне экологического стресса, испытываемого растениями, в первую очередь, древесных видов.

Оценка коэффициента флуктуирующей асимметрии листовых пластин деревьев, относящихся к видам *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Populus balsamifera*, произрастающих в парках и придорожных территориях г. Екатеринбурга, проведенная с помощью стандартной интегрированной методики на протяжении 2015–2024 гг., демонстрирует не только более высокие средние значения данного показателя у растений, высаженных вдоль городских автомагистралей (0,048–0,057, $P < 0,05$), но и корреляцию между величиной данного коэффициента и температурным режимом. В годы, для которых были характерны максимально высокие температуры в летний период (2016, 2021, 2023), значения коэффициента флуктуирующей асимметрии были достоверно выше у всех видов растений независимо от места сбора материала (0,062 у *B. pendula*, 0,067 у *T. cordata* и 0,058 у *P. balsamifera*, $P < 0,01$). Материал, собранный в 2016 и 2021 гг., в природном парке «Оленьи ручьи» (который можно рассматривать в качестве контрольного условно экологически чистого района) с растений *Betula pendula*, продемонстрировал значения интегрированного показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластин на уровне 0,048–0,052, что соответствует среднему или значительному отклонению от нормы ($< 0,04$). В годы без аномально высоких летних температур (2015, 2018, 2019) значения данного показателя были достоверно ниже. Таким образом, значения коэффициента флуктуирующей асимметрии могут использоваться в качестве индикатора общего уровня экологического стресса, испытываемого растениями, безотносительно от конкретной территории произрастания.

FLUCTUATING ASYMMETRY AS AN INDICATOR OF THE GENERAL LEVEL OF STRESS EXPERIENCED BY PLANTS UNDER INFLUENCE OF ADVERSE ENVIRONMENTAL FACTORS

Gordeeva I.V.

Ural State University of Economics, Ekaterinburg, Russia

Key words: fluctuating asymmetry coefficient, leaf plates, adverse environmental factors, environmental stress

НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ АНТИОКСИДАНТЫ МОЛОДЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Горелова С.В.^{1*}, Братчиков Д.Ю.²

¹Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого, Тула, Россия

²Тульский государственный университет, Тула, Россия

*E-mail: salix35@gmail.com

Ключевые слова: низкомолекулярные антиоксиданты, аскорбиновая кислота, глутатион, древесные растения, городская экосистема, техногенное загрязнение

Растения, произрастающие в агрессивной городской среде с высоким содержанием токсичных элементов в почвах при высоком уровне техногенного загрязнения атмосферного воздуха, испытывают стресс, связанный как с воздействием тяжелых металлов (ТМ), превышающих ПДК и ОДК, так и с влиянием токсичных газов и аэрозольных выпадений. Эти факторы приводят к нарушению фотосинтетической активности растений, снижению их продуктивности, формированию адаптивных реакций к воздействию токсикантов. В связи с этим, актуальным является изучение механизмов формирования устойчивости растений и маркерных признаков, сигнализирующих о стрессовых условиях.

Нами изучены адаптивные реакции молодых древесных растений 1–3 года после посадки в санитарно-защитных и рекреационных насаждениях г. Тулы на уровне низкомолекулярных антиоксидантов – аскорбиновой кислоты (АК) и глутатиона (GSH). Почвы санитарно-защитных зон, в которых проводился пробоотбор растительного материала, были загрязнены тяжелыми металлами: Co, Cu, Pb, Zn. В фоновой зоне – Комсомольском парке превышения содержания ТМ выявлено не было. Биохимическое определение содержания низкомолекулярных антиоксидантов проводили на свежесобранном растительном материале – листьях нижнего яруса кроны деревьев стандартным титриметрическим методом с ДХФИФ и КЮз. В ходе проведения исследования установлено, что содержание АК в листьях липы сердцевидной санитарно-защитных насаждений автодорог на 58–100%, содержание глутатиона на 24–91% выше, чем в листьях липы сердцевидной фоновой парковой зоны. У рябины обыкновенной и клена остролистного выработка низкомолекулярных антиоксидантов в условиях стресса более интенсивна и превышает значения растений фоновой зоны в 1,6–2,8 раз и 1,5–2 раза для АК и в 9,5–16 раз и 3,9–4,7 раза для GSH соответственно. Однако, у вида – интродуцента каштана конского обыкновенного содержание АК в рекреационной зоне Молодежного бульвара, расположенного в 200 м от крупной автомагистрали, было на 67%, а глутатиона – в 5 раз ниже, чем в фоновой зоне. При этом каштан конский отличался самой низкой жизненностью – 4 балла (по шкале жизненности Черненковой) и некротическими изменениями листьев (краевой некроз, достигающий до середины листа), достигающих 47%.

Проведенные исследования показали, что наиболее адаптированными к агрессивному воздействию техногенно загрязненной городской среды по содержанию низкомолекулярных антиоксидантов (АК и GSH) являются синантропные виды: рябина обыкновенная и клен остролистный, наименее адаптированным, страдающим в санитарно-защитных и рекреационных насаждениях – каштан конский обыкновенный.

LOW MOLECULAR WEIGHT ANTIOXIDANTS OF YOUNG WOODY PLANTS IN TECHNOGENICALLY POLLUTED URBAN ENVIRONMENTS

Gorelova S.V., Bratchikov D.Yu.

¹ L.N. Tolstoy Tula State Pedagogical University, Tula, Russia

² Tula State University, Tula, Russia

Key words: low molecular weight antioxidants, ascorbic acid, glutathione, woody plants, urban ecosystem, technogenic pollution

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРЕСС-ПРОТЕКТОРНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕБУКОНАЗОЛА В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ПШЕНИЦЫ

**Грабельных О.И.^{1,2*}, Рудковская У.А.², Корсукова А.В.¹, Полякова Е.А.¹,
Любушкина И.В.¹, Забанова Н.С.^{1,2}, Бережная Е.В.¹, Побежимова Т.П.¹, Дорофеев Н.В.¹**

¹ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

²ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия

*E-mail: grolga@sifibr.irk.ru

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., водный дефицит, засоление, тебуконазол

Предпосевная обработка семян путем протравливания фунгицидными препаратами – эффективный способ предотвращения грибковых заболеваний и повышения устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. Фунгициды класса триазолов активно применяются в сельском хозяйстве в составе протравителей, проявляют выраженные физиологические эффекты на растения и могут быть использованы в качестве «стресс-протекторов». Изучение защитного действия триазолов при водном дефиците и засолении в начальный период развития пшеницы очень актуально. Нами проанализировано влияние обработки семян тебуконазолом на ростовые процессы, показатели водного обмена, про/антиоксидантный баланс и функционирование митохондрий побегов и корней яровой и озимой пшеницы при водном дефиците и засолении. Использовали растения яровой пшеницы сорта «Новосибирская 29» и озимой пшеницы сорта «Иркутская» в возрасте 5 и 7 суток, выращенные из семян, обработанных суспензией тебуконазола (2 мг/50 г семян). Водный дефицит создавали 20% полиэтиленгликолем (ПЭГ6000), засоление с помощью 200 мМ NaCl (в течение 48 ч). Несмотря на сходное снижение относительного содержания воды в тканях, засоление имело более негативные последствия, по сравнению с обработкой ПЭГ, особенно для озимой пшеницы. Действие ПЭГ вызывало угнетение роста побегов и корней, снижение водного потенциала в тканях, увеличение проницаемости мембран, активацию перекисного окисления липидов, нарушение функционирования митохондрий. Натриево-хлоридное засоление помимо эффектов, характерных для ПЭГ, приводило к более сильным повреждениям корней. Тебуконазол оказывал ретардантный эффект на побеги, снижал интенсивность транспирации, стимулировал рост корней и частично предотвращал негативные эффекты ПЭГ, в том числе обеспечивал сохранение сопряжения процессов окисления и фосфорилирования в митохондриях. Тебуконазол менее эффективно защищал растения от действия NaCl и даже усиливал его токсический эффект. Полагаем, что лучшее развитие корневой системы, снижение интенсивности транспирации, более эффективная система антиоксидантной защиты клетки, снижение скоростей дыхания и поддержание синтеза АТФ в митохондриях лежат в основе защитного действия предпосевной обработки семян тебуконазолом при водном дефиците в начальный период развития пшеницы.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России для СИФИБР СО РАН (рег. № НИОКТР – 122041100049-0).

PHYSIOLOGICAL BASES OF STRESS-PROTECTIVE EFFECT OF TEBUCONAZOLE IN THE INITIAL PERIOD OF WHEAT DEVELOPMENT

**Grabelnych O.I.^{1,2}, Rudkovskaya U.A.², Korsukova A.V.¹, Polyakova E.A.¹,
Lyubushkina I.V.¹, Zabanova N.S.^{1,2}, Berezhnaya E.V.¹, Pobezhimova T.P.¹, Dorofeev N.V.¹**

¹Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Key words: *Triticum aestivum* L., salinity, tebuconazole, water deficiency

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСА БИОРЕМЕДИАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА НЕКОТОРЫЕ БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ-ФИТОРЕМЕДИАНТОВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО СТРЕССА

Григориади А.С.*, Федяев В.В., Морозова А.А., Сотникова Ю.М., Фархутдинов Р.Г.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

*E-mail: nysha111@yandex.ru

Ключевые слова: нефть, загрязнение, биопрепараты, фиторемедиация, *Helianthus annuus*

Для решения проблемы утилизации остаточного нефтяного загрязнения используется фиторемедиация. Целью работы являлась оценка эффективности использования ростостимулирующего штамма *Enterobacter ludwigii* BLK и биопрепарата «Азолен» на растения подсолнечника в условиях нефтяного загрязнения при комплексной биоремедиации.

В качестве объектов исследования были выбраны сорта подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*, сорт Бомбардир). Лабораторные модельные опыты проводили на черноземе выщелоченном, загрязненном товарной нефтью в концентрации 4%. Через 72 часа для биодеградации нефти в почву вносили биопрепарат «Ленойл» на основе *Pseudomonas turukhanskensis* ИБ 1.1. Спустя 30 суток в часть сосудов добавляли препараты («Азолен» на основе *Azotobacter vinelandii* ИБ и/или микробную культуру штамма *Enterobacter ludwigii* BLK). На этом же этапе производили посадку семян подсолнечника. Растения в течение 30 дней выращивали при 12-часовом светопериоде, интенсивности освещения 30 клк и температуре воздуха 22–25°C.

Количественное содержание фотосинтетических пигментов в подсолнечнике, выросшем на загрязненной почве, снизилось относительно контроля на 2, 5 и 15% для каротиноидов, хлорофилл а и b соответственно. Использование препаратов в пробах «Загрязнение» привело к незначительному уменьшению содержания пигментов. Если сравнивать два варианта проб «Загрязнение+Ленойл+BLK» и «Загрязнение+Ленойл+Азолен+BLK», то добавление препарата «Азолен» стимулировало увеличение концентрации пигментов: хлорофилла а на 14%, хлорофилла b – на 17%, каротиноидов – на 6%. Содержание белка в листьях подсолнечника из пробы «Загрязнение» стало выше контрольной пробы почти в два раза. Совместное использование биопрепарата «Ленойл» и штамма «BLK» на незагрязненной почве стимулировало синтез белка (в 1,46 раз больше относительно контроля). Вариант с загрязнением и с использованием того же комплекса биопрепаратов снизил содержание белка в два раза. Добавление «Азолена» на нефтезагрязненную почву показало значительное увеличение (в 3,5 раза) количества белка в листьях по сравнению с комплексом «Ленойл+BLK».

Таким образом, перспективным для обработки растений-фиторемедиантов с целью улучшения их адаптации к нефтяному стрессу оказалось совместное использование всех трех препаратов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-24-00358, <https://rscf.ru/project/23-24-00358/>.

INFLUENCE OF A COMPLEX OF BIOREMEDIATION MEASURES ON SOME BIOCHEMICAL INDICATORS OF PHYTOREMEDIANT PLANTS GROWING UNDER OIL STRESS CONDITIONS

Grigoriadi A.S., Fedyaev V.V., Morozova A.A., Sotnikova Yu.M., Farkhutdinov R.G.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: oil, pollution, biopreparations, phytoremediation, *Helianthus annuus*

**ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ФОТОСИНТЕЗ БЕРЕЗЫ
ПЛОСКОЛИСТНОЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ****Григорьев М.Р., Максимов Т.Х., Максимов А.П.**

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

E-mail: eidosmarat@mail.ru*Ключевые слова:** береза, изменение климата, CO₂, фотосинтез

Глобальное изменение климата – одна из основных проблем современного человечества. Существует множество факторов, влияющих на климатические условия нашей планеты (биотические, абиотические и антропогенные), одним из них являются парниковые газы, которые вносят основной вклад в изменение теплового баланса атмосферы. В последние годы участились случаи масштабных лесных пожаров, являющихся следствием изменения климата и приводящих к увеличению парникового эффекта. Естественным способом регуляции теплового баланса (поглощение и накопление углерода, C) является фотосинтез – химический процесс преобразования энергии и неорганических веществ в органические.

Мы изучили суточную динамику фотосинтеза в течение вегетационного периода за последние 3 года (2021–2023 гг.) на территории лесной научной станции Спасская Падь, расположенной в 30 км к северу от г. Якутск в Центральной Якутии (Россия). Для измерения скорости фотосинтеза был использован портативный инфракрасный газоанализатор ADC LSi (ADC, BioScientific Ltd.) с прозрачной камерой для широколиственных растений площадью 6 см². В качестве образцов использовали 3 растения березы (возраст 35–40 лет), произрастающие в березовой роще; высота проведения замеров – 9 метров от земли. Измерения проводили интактно в солнечные безоблачные дни. В 2021 году на территории Якутии происходили обширные лесные пожары, в результате которых сгорело почти 8,5 млн. гектаров леса; в последующие 2022 и 2023 годы, лесные пожары больших масштабов не наблюдались. В 2021 году средняя концентрация CO₂ под пологом березового леса, составила 467 ppm, что на 15,3% и 16,5% выше значений 2022 и 2023 годов исследования, соответственно. Средняя фотосинтетически активная радиация (ФАР) в период наибольшей активности процесса фотосинтеза листьев (с 6 до 15 часов) была равной 519 микромольт фотонов м⁻² с⁻¹ в 2021 г., 1018 микромольт фотонов м⁻² с⁻¹ в 2022 г. и 817 микромольт фотонов м⁻² с⁻¹ в 2023 г.

По нашим данным максимумы интенсивности фотосинтеза в листьях березы в течение вегетационного периода составили: в 2021: 10,4 микромольт CO₂ м⁻² с⁻¹; в 2022: 16.1 микромольт CO₂ м⁻² с⁻¹; в 2023: 17.8 микромольт CO₂ м⁻² с⁻¹. В результате чего, скорость ассимиляции углекислоты у березы в 2021 году была снижена на 71% и 55%, соответственно, по сравнению с 2023 и 2022 гг. Таким образом, при повышении концентрации углекислого газа в атмосфере в результате лесных пожаров, у растений может наблюдаться угнетение скорости ассимиляции CO₂, прежде всего, из-за густого смога, ограничивающего доступ к солнечному свету и снижению ФАР.

Работа выполнена в рамках базового проекта – Исследование биогеохимических циклов и адаптивных реакций растений бореальных и арктических экосистем северо-востока России (код научной темы: FWRS-2021-0024; номер гос.регистрации в ЕГИСУ: АААА-А21-121012190034-2; руководитель: д.б.н. Максимов Т.Х.).

**THE INFLUENCE OF FOREST FIRES ON THE PHOTOSYNTHESIS OF ASIAN WHITE
BIRCH IN CENTRAL YAKUTIA****Grigorev M.R., Maximov T.Ch., Maksimov A.P.**

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Key words: birch, climate change, CO₂, photosynthesis

СТРЕССОВЫЙ СИГНАЛИНГ КАК НАИБОЛЕЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС К ДЕЙСТВИЮ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Гринберг М.А.^{1,2*}, Немцова Ю.А.¹, Иванова А.В.¹, Пирогова П.А.¹, Печёрина А.А.¹,
Ильин Н.В.², Мареев Е.А.², Воденев В.А.¹

¹Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

²Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: mag1355@yandex.ru

Ключевые слова: ионизирующее излучение, магнитные поля, фотосинтез, электрические сигналы

Уровни ионизирующего излучения (ИИ) и магнитных полей (МП) являются относительно постоянными и стабильными в естественных условиях, однако их параметры могут быть существенно модифицированными в зонах техногенных аварий и в условиях космических станций, устойчивое выращивание растений для которых является серьёзной перспективной задачей. Определение систем и процессов, обладающих повышенной чувствительностью к ИИ и МП, требуется для комплексного понимания поведения растений в таких условиях. Целью настоящей работы являлось выявление наиболее чувствительных процессов растений к ионизирующему излучению и магнитным полям в диапазоне Шумановского резонанса.

Эксперименты были выполнены на 14–15-дневных растениях пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и табака (*Nicotiana tabacum* L.). На первом этапе эксперимента семена пшеницы подвергались острому облучению на линейном ускорителе в высоких дозах (25, 50, 75, 100 Гр, мощность дозы 10 Гр/мин). На втором этапе была выполнена проверка выявленных наиболее чувствительных процессов при хроническом (весь период выращивания) действии низкоинтенсивных факторов (ИИ с мощностью дозы 0,5 мкГр/мин, МП с частотой 14,3 Гц и магнитудой 18 мкТл) у растений пшеницы и табака.

Состояние растений оценивалось на основе морфометрических показателей, активности фотосинтеза и параметров стрессовых сигнальных систем. Показатели флуоресценции хлорофилла регистрировались при помощи РАМ-флуориметра. Уровень ассимиляции CO₂ измерялся при помощи инфракрасного газоанализатора. Параметры сигнальных систем оценивались по амплитуде вызванных дополнительным стимулом электрических реакций. В качестве модельных стимулов, вызывающих электрические реакции, использовалось изменение освещённости и локальное повышение температуры.

Обнаружено, что из исследованных показателей наибольшей радиочувствительностью обладают параметры электрических реакций. В экспериментах с хроническим воздействием показано, что при низких интенсивностях как ИИ, так и МП имеет место диапазон, в котором отсутствуют изменение морфометрических показателей и активности фотосинтеза, но происходит существенная модификация параметров сигнальных систем.

Работа выполнена при поддержке программы 10 Экспериментальная Лабораторная Астрофизика и Геофизика НЦФМ.

STRESS SIGNALING AS THE MOST SENSITIVE PROCESS TO THE EFFECTS OF LOW-INTENSITY IONIZING RADIATION AND MAGNETIC FIELD

Grinberg M.A.^{1,2}, Nemtsova Y.A.¹, Ivanova A.V.¹, Pirogova P.A.¹, Pecherina A.A.¹,
Ilin N.V.², Mareev E.A.², Vodeneev V.A.¹

¹Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

²Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

Key words: ionizing radiation, magnetic field, photosynthesis, electrical signals

БРАССИНОСТЕРОИДЫ ПОВЫШАЮТ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ

Данилова Е.Д.^{1*}, Литвиновская Р.П.², Ефимова М.В.¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: danilova@mail.tsu.ru

Ключевые слова: засоление, brassinosteroids, ячмень

Одной из экологических проблем современного земледелия является повышенное содержание солей в почве или поливной воде, которое оказывает губительное влияние на растения. Засоление вызывает нарушения клеточного метаболизма и основных физиологических процессов, что приводит к снижению продуктивности растений. Известно, что повышение устойчивости растений во многом определяется факторами гормональной природы. Особый интерес представляют brassinosteroids (БС), положительный эффект которых проявляется в крайне низких концентрациях. Целью данного исследования была оценка эффективности применения БС для повышения солеустойчивости ячменя.

Семена ячменя сорта Биом стерилизовали спиртовым раствором, проращивали в течение трех суток на перлите (на свету, в фитотроне с 16-часовым фотопериодом, t 20–21°C). Далее проростки переносили на питательную среду по Blamey согласно вариантам: 1. контроль; 2. 90 mM NaCl; 3. 28-гомобрасинолид (10^{-10} М ГБЛ); 4. 28-гомокастастерон (10^{-10} М ГКС); 5. 90 mM NaCl + 10^{-10} М ГБЛ; 6. 90 mM NaCl + 10^{-10} М ГКС. Через 14 суток измеряли ростовые параметры растений ячменя, а также фиксировали пробы растений в жидком азоте для дальнейшей оценки физиологических показателей.

Присутствие хлорида натрия в среде оказывало негативный эффект на длину осевых органов (уменьшение относительно контроля на 12 и 18% для стебля и корня соответственно) и общую массу растений. БС на фоне хлоридного засоления частично снимали негативный эффект стресса относительно массы растений и длины корня. Действие NaCl приводило к падению содержания фотосинтетических пигментов. В вариантах с ГКС и ГБЛ содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов было на 11–14% выше, чем в варианте с хлоридом натрия, но без добавления БС. Засоление вызывало усиление интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) (на 27% по сравнению с контролем). БС на фоне хлоридного засоления понижали интенсивность ПОЛ практически до уровня контрольных значений и достоверно увеличивали активность супероксиддисмутазы – фермента, который катализирует превращение супероксидных радикалов в менее реактивные молекулы.

Таким образом, нами показано, что БС способствуют повышению устойчивости растений ячменя к хлоридному засолению.

Исследование поддержано Российским научным фондом (РНФ, проект № 23-44-10019).

BRASSINOSTEROIDS INCREASE SALT TOLERANCE OF BARLEY PLANTS

Danilova E.D.¹, Litvinovskaya R.P.², Efimova M.V.¹

¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Key words: salinity, brassinosteroids, barley

ГЕНОТИПИРОВАНИЕ *THERMOPSIS JACUTICA* CZEFR.**Егоров Ю.А.* , Заболоцкая А.П., Охлопкова Ж.М.**

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

*E-mail: egorov.y.a@s-vfu.ru

Ключевые слова: *Thermopsis jacutica*, ДНК, генотипирование

Генотипирование как процесс определения генетической структуры отдельного вида растения является одним из решающих этапов в исследовании ранее неизученных видов. Сравнивая генетические профили представителей семейств и родов, можно изучить пути эволюции различных видов растений и их взаимоотношения, что имеет важное значение для понимания биоразнообразия растений и их адаптации к различным условиям среды.

Одним из редких и малоизученных видов является термопсис якутский (*Thermopsis jacutica* Czefr) – многолетнее травянистое растение семейства *Fabaceae*, занесенное в Красную книгу Республики Саха (Якутия) (2017) по категории редкости – «2а», численность которого сокращается в результате разрушения естественной среды обитания.

Целью данного исследования является изучение геномной ДНК *Thermopsis jacutica*. Образцы надземной фитомассы дикорастущих растений термопсиса якутского были собраны на территории Хангаласского и Амгинского районов Якутии в zip-файлы с силикагелем. Также в качестве образцов были взяты пробы каллусных культур клеток термопсиса якутского, полученных в ходе экспериментальных работ лаборатории. Выделение ДНК проводили с помощью набора HiPure HP Plant DNA Kit (Magen). Качественный и количественный анализ ДНК проводили на спектрофотометре SpectroStar Omega (BMG Labtech) и флуориметре Qubit 2.0. (Invitrogen). RAPD-ПЦР проводили с использованием неспецифических праймеров на C1000 (Bio-Rad). Амплифицируемые образцы подвергали электрофоретическому разделению в 1,5%-ом агарозном геле с негативным контролем, маркером молекулярного веса и анализировали с помощью системы гель-документирования Gel Doc XR+ (Bio-Rad).

В результате выполненной работы была составлена база данных (коллекция) образцов ДНК *Thermopsis jacutica* Czefr. Разработан и апробирован протокол RAPD-ПЦР с неспецифическими праймерами, способными амплифицировать ДНК образцов объекта исследования. Полученные результаты заложили основу для изучения генетического полиморфизма представителей разных популяций *Thermopsis jacutica* Czefr.

Исследование выполнено в Северо-Восточном федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда №22–14–20031, <https://rscf.ru/project/22-14-20031/>.

GENOTYPING *THERMOPSIS JACUTICA* CZEFR.**Egorov Y.A., Zabolotskaya A.P., Okhlopkova Z.M.**

North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Key words: *Thermopsis jacutica*, DNA, genotyping

МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ КОЛЕОПТИЛЕЙ ПРОРОСТКОВ РИСА, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ РОСТА ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ

Емельянов В.В.^{1*}, Пузанский Р.К.², Богданова Е.М.^{1,2}, Ванисов С.А.¹,
Кирпичникова А.А.¹, Шаварда А.Л.^{1,2}, Шишова М.Ф.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: bootika@mail.ru

Ключевые слова: затопление, *Oryza sativa*, колеоптиль, метаболомика, ГХ-МС

Метаболическое профилирование колеоптилей проростков риса сортов Аметист и Кубань 3, различающихся скоростью роста было проведено с помощью ГХ-МС. Профиль насчитывал 320 метаболитов, из них 151 был идентифицирован; а 89 соединений определено до класса. В профиле представлены все группы метаболитов центрального обмена веществ, преимущественно – сахара и их производные. Из вторичных соединений детектированы терпены и фенолы. Различия между медленнорастущим сортом Аметист и быстрорастущим Кубань 3 проявлялись уже при нормоксии и усиливались при затоплении. Черты анаэробного метаболизма при гипоксии, характерные для устойчивых к дефициту O₂ растений, заключались в накоплении карбоновых кислот гликолиза (глицерат, пируват), брожений (лактат) и цикла Кребса (фумарат и сукцинат), а также аминокислот, образованных из интермедиатов гликолиза, пролина и метаболитов ГАМК-шунта. Эти маркерные метаболиты (за исключением лактата) указывают на активацию анаэробных путей обмена веществ в колеоптилях риса, осуществляющих альтернативное восстановление НАД(Ф)⁺, необходимое для эффективного протекания гликолиза, избегая аккумуляции токсичных метаболитов брожений (ацетальдегида и этанола).

Метод главных компонент выявил различия метаболомов. Дискриминантный анализ методом ортогональных проекций на латентные структуры (OPLS-DA) показал преимущественную аккумуляцию карбоксилатов, азотистых соединений, олигосахаридов и фенолов на 3 сутки прорастания при нормоксии в колеоптилях проростков сорта Аметист. Кубань 3 характеризовалась накоплением гексоз и стеринов. 3 суток затопления приводили к повышению содержания сукцината, фумарата и цитрата у Аметиста, а у Кубани 3 – гликолата, лактата и малата. Колеоптиль медленнорастущего сорта содержали больше 2-гидроксиглутарата, который синтезируется при восстановлении 2-оксоглутарата или распаде Лиз и разветвлённых аминокислот. Аметист аккумулировал больше β-Ала, Вал, ГАМК, Глу, Лиз, 5-оксопролина, Про, Тре и Фен, а Кубань 3 – α-Ала, Гли, Иле, Сер и Тир. Быстрорастущий сорт при затоплении отличался более высоким уровнем комплексных сахаров, азотистых соединений, стеринов и терпенов.

Таким образом, метаболомный анализ выявил различия между сортами в условиях нормоксии, и их усиление при затоплении

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 22-14-00096.

METABOLITE PROFILING OF RICE SEEDLING COLEOPTILES DIFFERING IN GROWTH INTENSITY UNDER SUBMERGENCE

Yemelyanov V.V.¹, Puzanskiy R.K.², Bogdanova E.M.^{1,2}, Vanisov S.A.¹,
Kirpichnikova A.A.¹, Shavarda A.L.^{1,2}, Shishova M.F.¹

¹Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

²Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Key words: submergence, *Oryza sativa*, coleoptile, elongation growth, metabolomics, GC-MS

ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ β -ГЛЮКОЗИДАЗЫ РАСТЕНИЙ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ И ДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ

Ершова А.Н.

Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж, Россия

E-mail: profershova@mail.ru

Ключевые слова: β -глюкозидаза, очистка, гипоксия, металлы, субстраты, растения гороха

Растения синтезируют большое количество соединений, часть которых рассматриваются как вторичные метаболиты. К ним относят гликозиды, при расщеплении β - O-гликозидной связи которых образуются высокоактивные агликоны, участвующие в регуляции роста и развития растений, а также в адаптации к стрессам. Исследовали активность β -глюкозидазы (КФ 3.2.1.21) растений гороха в условиях кратковременной гипоксии и при действии ионов двухвалентных металлов.

В опытах использовали высокоочищенные электрофоретически гомогенные препараты цитоплазматической и связанной с клеточной стенкой β -глюкозидазы растений гороха, Активность фермента определяли глюкоксидазным тестом по глюкозе при использовании природных гликозидов, а для р-НФГ по количеству отщепившегося р-нитрофенола и рассчитывали на мг белка.

Было показано, что при действии на растения кратковременной (6–24 ч) гипоксии активность цитоплазматической β -глюкозидазы возрастала для субстрата салицина в два раза, повышалась на 121,5% для специфического для растений гороха изосукцинимид- β -гликозида (ИС-гликозида), но снижалась для целлобиозы и р-НФГ. Активность связанной с клеточной стенкой β -глюкозидазы в этих условиях возрастала для всех субстратов, что отражалось на K_m и V_{max} .

При использовании ИС-гликозида активность β -глюкозидазы подавлялась ионами Hg^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} . Ионы Zn^{2+} , Cu^{2+} практически не влияли на активность фермента как при 5мМ, так и 10мМ концентрации в среде инкубации. В присутствии субстрата р-НФГ все ионы металлов ингибировали активность β -глюкозидазы практически полностью. Были рассчитаны K_i и определены типы ингибирования.

Проведенные опыты показали, что в условиях дефицита кислорода в проростках гороха возрастала активность β -глюкозидазы только при использовании ИС-гликозида и салицина, что поставляло глюкозу, необходимую для дыхательного метаболизма растений. Ингибирующее действие ионов металлов на β -глюкозидазу также было более избирательно при использовании ИС-гликозида, чем р-НФГ. Таким образом, нами было установлено, что эффекты действия условий среды (гипоксия) и различных метаболитов, включая ионы металлов, в значительной степени определяются природой используемого в опытах субстрата, что нужно учитывать при изучении активности и свойств β -глюкозидаз различных растений.

ANALYSIS OF β -GLUCOSIDASE ACTIVITY IN PEA PLANTS UNDER HYPOXIA AND METAL EFFECTS USING NATURAL AND SYNTHETIC SUBSTRATES

Ershova A.N.

Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia

Key words: β -glucosidase, purification, hypoxia, metals, substrates, pea plants

**РЕГУЛЯЦИЯ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ ПРИ ЗАСУХЕ
ЛАКТОН- И КЕТОН-СОДЕРЖАЩИМИ БРАССИНОСТЕРОИДАМИ****Ефимова М.В.^{1*}, Коломейчук Л.В.¹, Мурган О.К.¹, Данилова Е.Д.¹,
Литвиновская Р.П.², Жабинский В.Н.², Хрипач В.А.², Кузнецов Вл.В.³**¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия²Институт биоорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь³Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва, Россия*E-mail: stevmv555@gmail.com**Ключевые слова:** засуха, брассиностероиды, ячмень

Среди наиболее распространённых абиотических стрессоров можно выделить снижение доступности воды. Повышение устойчивости растений во многом определяется фитогормонами. Особый интерес представляют стероидные гормоны брассиностероиды (БС). Лучше всего охарактеризованы брассинолид, 24-эпибрассинолид и 28-гомобрассинолид, отличающиеся лактонной структурой цикла В стероидного скелета. В меньшей степени изучены производные 6-кето-ряда, являющиеся биогенетическими предшественниками лактонов. Почти отсутствуют данные, отражающие механизмы биологического действия кетон- и лактонсодержащих фитостероидов на растения в условиях стресса. Целью данного исследования была сравнительная оценка эффективности применения БС, отличающихся по химической структуре, для повышения устойчивости ячменя к водному дефициту.

Семена ячменя сорта Биом стерилизовали и проращивали на увлажнённой фильтровальной бумаге (на свету, в фитотроне с 16-ч фотопериодом, 20-21°C). Проросшие семена обрабатывали два часа 0,1 нМ растворами 28-гомобрассинолида (ГБЛ), 28-гомокастастерона (ГКС) или дистиллированной водой (контроль). После обработки семена высевали по 10 шт. в 1-л сосуды с почвой. Дефицит воды создавался путем прекращения полива 7-сут. растений в течение следующих двух недель. Через 14 сут. оценивали ростовые параметры растений ячменя, а также фиксировали пробы в жидком азоте для дальнейшей оценки физиологических показателей. Растения реагировали на засуху ингибированием роста, нарушением водного статуса, усилением перекисного окисления липидов (ПОЛ), дифференцированным воздействием на антиоксидантные ферменты, интенсивным накоплением пролина, изменением экспрессии генов метаболизма пролина. Предварительная обработка растений ГБЛ снижала ингибирующий эффект засухи на накопление сырой и сухой биомассы и относительное содержание воды, в то время как ГКС частично отменял негативный эффект засухи на накопление сырой биомассы, снижал интенсивность ПОЛ и повышал осмотический потенциал. По сравнению с засухой, предварительная обработка растений ГКС или ГБЛ с последующей засухой увеличивала активность супероксиддисмутазы в семь или три раза, а также активность каталазы. Таким образом, лактон- и кетонсодержащие БС повышали устойчивость растений ячменя к засухе, демонстрируя специфичность действия.

Исследование поддержано Российским научным фондом (РНФ, проект № 23-44-1001).

**REGULATION OF BARLEY PLANT DEFENCE SYSTEMS UNDER DROUGHT BY
LACTONE- AND KETONE-CONTAINING BRASSINOSTEROIDS****Efimova M.V.^{1*}, Kolomeichuk L.V.¹, Murgan O.K.¹, Danilova E.D.¹,
Litvinovskaya R.P.², Zhabinskii V.N.², Khripach V.A.², Kuznetsov V.V.³**¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia²Institute of Bioorganic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus³K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia**Key words:** drought, brassinosteroids, barley

ОСОБЕННОСТИ БИОСИНТЕЗА ПОЛИФЕНОЛОВ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ АДАПТАЦИИ КЛЕТОК РАСТЕНИЙ К СВЕТОВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ (НА ПРИМЕРЕ *CAMELLIA SINENSIS* L.)**Зубова М.Ю.* , Загоскина Н.В.**

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

*E-mail: mariia.zubova@yandex.ru**Ключевые слова:** культуры *in vitro*, первичное воздействие, полифенолы, регуляция, свет

Свет – это важнейший фактор среды, регулирующий рост и метаболизм растений. Однако он способен оказывать и стрессовое воздействие за счет повышения образования активных форм кислорода, зависящее от его интенсивности и длительности. Снижение фотоингибирующего действия света осуществляется и при участии полифенолов (ПФ) – одних из наиболее распространенных в растениях вторичных метаболитов и эффективных биоантиоксидантов. Их протекторная роль обусловлена способностью непосредственно взаимодействовать со свободными радикалами, а также модулировать каскад передачи сигналов, вызванных их действием. Антиоксидантные свойства ПФ сохраняются и в организме человека, куда они поступают по пищевым цепям, что привлекает большое внимание исследователей различных специальностей. Биосинтез ПФ, осуществляемый при участии шикиматного и ацетатомалонатного путей, хорошо изучен, за исключением его завершающих стадий, где работа ферментативно-генетического аппарата до сих пор вызывает много дискуссий. В значительной степени это обусловлено широким спектром этих метаболитов, способностью к формированию олиго- и полимеров, наличием различных конъюгатов и др. Все это подтверждает необходимость изучения ПФ, в том числе на примере растений-продуцентов. К их числу относится чай (*Camellia sinensis* L.) в молодых побегах которого количество ПФ может достигать 30% от сухой массы, а основными компонентами являются флаванолы (флаван-3-олы и их олигомерные производные проантоцианидины), образующиеся на заключительных стадиях биосинтеза ПФ и обладающие выраженными антиоксидантными свойствами. Высокая требовательность чая к почвенно-климатическим условиям не позволяет возделывать его повсеместно, и в этой связи перспективно получение из него культур *in vitro* как продуцентов уникальных биоантиоксидантов, а также модельных систем для изучения различных аспектов регуляции биосинтеза ПФ, в том числе на начальных этапах светового воздействия, где наши знания не столь значительны. Каллусы чая сохраняли способность к накоплению характерных для исходных эксплантов ПФ. На начальных этапах адаптации клеток к световому воздействию общее содержание ПФ и флаванолов с различной степенью полимеризации, а также отдельных их компонентов изменялось. Будут представлены сведения о характере роста каллусов чая при различной интенсивности света, балансе различных компонентов ПФ и активности генов их биосинтеза. Исследование этого аспекта фенольного метаболизма представляет большой фундаментальный и практический интерес и является предметом дальнейших исследований.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда №23-24-00359.

POLYPHENOL BIOSYNTHESIS FEATURES AT THE INITIAL STAGES OF PLANT CELL ADAPTATION TO LIGHT EXAMPLE OF CALLUS CULTURE *CAMELLIA SINENSIS* L.**Zubova M.Y., Zagoskina N.V.**

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: *in vitro* cultures, primary exposure, polyphenols, regulation, light

СОПОСТАВЛЕНИЕ ДОЗОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И СИГНАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Иванова А.В. *, Немцова Ю.А., Пирогова П.А., Воденеев В.А., Гринберг М.А.

Университет Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: zelenkaeee@gmail.com

Ключевые слова: активность фотосинтеза, ионизирующее излучение, радиочувствительность

Одним из факторов абиотического стресса является ионизирующее излучение (ИИ). Повышенный радиационный фон в зоне произрастания растений влияет на их рост и развитие, вызывая изменения в морфометрических показателях, активности физиологических процессов, включая один из важнейших – фотосинтез, а также параметрах работы сигнальных систем. Известно, что эффекты, вызываемые ИИ, носят дозозависимый характер. По сравнению с морфометрическими параметрами дозовые зависимости для других показателей функционирования растений мало изучены. При этом есть основания полагать, что радиочувствительность фотосинтеза и сигнальных систем будет превышать радиочувствительность морфометрических параметров.

Целью настоящей работы являлось сопоставление дозовых зависимостей для морфометрических показателей, фотосинтетической активности и электрических сигналов.

Исследования проводились на проростках пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.). Облучение сухих семян проводилось на линейном ускорителе в дозах: 25, 50, 75, 100 Гр, мощность дозы составила 10 Гр/мин. Измерения проводились на пшенице возрастом 14 и 15 дней. В работе были применены следующие методы: измерение морфометрических показателей, РАМ-флуориметрия и регистрация электрических сигналов. Электрический сигнал, индуцировался нагревом кончика листа в кювете с водой.

Результаты эксперимента показали, что ИИ вызывает дозозависимое снижение морфометрических показателей, которое начиналось с 75 Гр. Угнетение активности фотосинтеза, которое проявлялось в снижении квантового выхода фотосистемы 2 (Ф_{PSII}) начиналось с 50 Гр. Возрастание амплитуды реакции электрических сигналов начиналось с меньшей из исследованных доз – 25 Гр. Таким образом, наименее радиочувствительными показателями оказались морфометрические параметры, а наибольшую радиочувствительность показали электрические сигналы.

Работа выполнена при поддержке программы 10 Экспериментальная Лабораторная Астрофизика и Геофизика НЦФМ.

COMPARISON OF DOSE DEPENDENCES OF MORPHOMETRIC, PHYSIOLOGICAL AND SIGNALING PARAMETERS IN WHEAT SEEDLINGS UNDER THE ACTION OF IONIZING RADIATION

Ivanova A.V., Nemtsova Y.A., Pirogova P.A., Vodeneev V.A., Grinberg M.A.

Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

Key words: photosynthetic activity, ionizing radiation, radiosensitivity

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ РАСТЕНИЙ ЭНДОФИТНЫМ ГРИБОМ *FUSARIUM EQUISETI* НА ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

Исламова Н.А.* , Бухарина И.Л.

Удмуртский государственный университет, Ижевск, Россия

*E-mail: islamovanadezhda@mail.ru

Ключевые слова: инокуляция, устойчивость к тяжелым металлам, эндофитные грибы

Растения, находящиеся в ассоциации с корневыми микромицетами, имеют более широкие пределы устойчивости к внешним факторам. Среди таких микромицетов корневые эндофиты, в том числе, эндофитные грибы, представляют наибольший интерес: они морфологически разнообразны по своему строению, имеют широкий ареал распространения и жизнеспособны в стрессовых условиях. При этом важным фактором является происхождение и источник инокулята. Те изоляты, которые были получены из загрязненных тяжелыми металлами почв, были наиболее эффективными в вопросе повышения устойчивости растений к загрязнителям, что указывает на способность эндофитных грибов адаптироваться к условиям высокой нагрузки. Отсюда изучение пределов выносливости эндофитных грибов к действию различных загрязнителей, а также их влияние на стрессоустойчивость растений на сегодняшний день является весьма актуальным.

Среди представителей эндофитных грибов *Fusarium equiseti* представляет немалый интерес. Гриб является широко встречающимся в природе корневым эндофитом и обладает способностью колонизировать корни растений, не являющихся хозяевами. Гриб долгое время считался патогенным, однако в последнее время привлек к себе внимание способностью выступать в качестве биоконтроллера в борьбе с корневыми патогенами.

В проведенных исследованиях по изучению влияния инокуляции растений *Fusarium equiseti* на физиолого-биохимические показатели растений, выращенных на субстратах в условиях загрязнения тяжелыми металлами, оценивали влияние культуры гриба и его адаптированных популяций, то есть выращенных предварительно на субстратах, содержащих тяжелые металлы. В результате было выявлено, что при инокуляции растений адаптированными популяциями *F. equiseti* наблюдалось увеличение биомассы надземной части растений по сравнению с вариантами, инокулированными культурой гриба. Также у растений, инокулированных адаптированными популяциями *F. equiseti*, наблюдалось увеличение суммы фотосинтетических пигментов (хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов) и отношения суммы хлорофиллов *a* и *b* к каротиноидам по сравнению с растениями, инокулированными культурой гриба.

Таким образом, наибольший эффект формирования адаптивных реакций у растений наблюдался при их инокуляции адаптированными популяциями грибов и культивировании на субстратах с внесением тяжелых металлов, т.е. в условиях действия стрессора.

INFLUENCE OF *FUSARIUM EQUISETI* INOCULATION ON PLANTS UNDER CONDITIONS OF SOIL POLLUTION WITH HEAVY METALS

Islamova N.A., Bukharina I.L.

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

Key words: inoculation, resistance to heavy metals, endophytic fungi

РЕАКЦИЯ ОДНОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ НА НЕДОСТАТОК ИЛИ ИЗБЫТОК ЦИНКА В КОРНЕОБИТАЕМОЙ СРЕДЕ

Казнина Н.М.* , Батова Ю.В., Репкина Н.С.

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

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

Ключевые слова: цинк, пшеница, ячмень, антиоксидантная система, транспортные белки

В контролируемых условиях среды изучали реакцию однолетних злаков на недостаток (0,05 мкМ) или избыток (1000 мкМ) цинка в среде роста. Обнаружено, что при обоих видах стрессового воздействия у растений тормозится рост побега и накопление надземной биомассы, снижается (по сравнению с оптимальным содержанием) также интенсивность фотосинтеза. Однако при дефиците цинка это связано с реакциями темновой фазы, в частности, снижением активности карбоангидразы, а при избытке металла – с уменьшением содержания пигментов и изменениями в световых реакциях. При действии изученных стрессоров не было обнаружено нарушения структурно-функциональной целостности клеточных мембран. При этом в условиях дефицита цинка активность антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы (СОД) и пероксидазы (ПО) – была низкой, но возрастало содержание пролина и уровень транскриптов гена одного из ферментов его синтеза (*WP5CS*). Кроме того, на уровне контрольного варианта поддерживалось содержание каротиноидов. При избытке металла активность СОД и ПО оказалась высокой, что корреспондировало с увеличением уровня транскриптов гена *Cu/ZnSOD1*, содержание же неферментных компонентов АОС, наоборот, снижалось.

Помимо этого, обнаружено, что при дефиците цинка в корнях и листьях увеличивается количество транскриптов гена транспортного белка *IRT1* (*iron-regulated transporter*), участвующего в переносе катиона в клетки корня, а в надземных органах – во флоэму, а также гена белка *HMA2* (*heavy metal ATPase*), осуществляющего загрузку ионов цинка в ксилему и флоэму. При избытке металла в корнях транскрипционная активность обоих генов была снижена. В листьях содержание транскриптов гена *IRT1* уменьшалось, тогда как гена *HMA2*, наоборот, возрастало, что, вероятно, направлено на восполнение недостатка других микроэлементов, наблюдаемого при высоких концентрациях металла.

В целом, реакция злаков на недостаток и избыток цинка сходная, но механизмы адаптации растений к ним разные. При дефиците цинка они направлены на усиление поглощения металла и сохранение окислительно-восстановительного баланса клеток за счет увеличения содержания неферментных компонентов АОС, а при избытке металла – на снижение его поглощения из почвы при оптимизации поступления других микроэлементов и синтез антиоксидантных ферментов.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (FMEN-2022-0004).

RESPONSE OF CEREALS TO ZINC DEFICIENCY OR EXCESS IN THE ROOT ENVIRONMENT

Kaznina N.M., Batova Yu.V., Repkina N.S.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Key words: zinc, wheat, barley, antioxidant system, transport proteins

ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАЗМАЛЕММНЫХ H^+ -АТФаза И АКВАПОРИНОВ СЕМЕЙСТВА PIP1 В ПРОЦЕССЕ РОСТА РАСТЯЖЕНИЕМ КЛЕТОК КОЛЕОПТИЛЕЙ РИСА В НОРМЕ И ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ

Кирпичникова А.А.* , Дaneliya Г.В., Бикташева М.О., Емельянов В.В., Шишова М.Ф.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: nastin1972@mail.ru

Ключевые слова: рост растяжением, затопление, рис, H^+ -АТФаза, аквапорины

Рост растяжением – уникальный для растений тип роста, приводящий к многократному увеличению размеров клеток и их вакуолизации. Это многоэтапный процесс, в котором участвуют практически все компартменты клетки. Особое внимание уделяется белкам-транспортерам. К их числу можно отнести H^+ -АТФазу и аквапорины плазмалеммы. Модельным объектом для изучения роста растяжением являются coleoptили проростков злаков. Отметим, что для проростков риса усиливающийся рост растяжением рассматривают в качестве одного из адаптационных механизмов, развивающихся в условиях затопления.

Общемикросомальную фракцию получали из клеток coleoptилей проростков риса сортов Аметист и Кубань 3 на 3, 5 и 7 сутки развития, выращенных в условиях нормоксии и недостатка кислорода (затопление). С использованием высокоспецифичных антител показано, что при контрольном составе газовой среды у медленно растущего сорта Аметист, максимальное количества белка H^+ -АТФаз детектировали на 5 сутки, а при затоплении – на 7 сутки. В мембранах клеток coleoptилей проростков сорта Кубань 3 в условиях нормоксии уровень белка не менялся, но резко возрастал на 7 сутки прорастания при недостатке кислорода.

Анализ динамики аквапоринов в составе плазмалеммы клеток coleoptилей проростков в те же сроки развития, показал, что в условиях нормоксии наблюдали нелинейное изменение содержания PIP1. Максимальным оно было на 5 сутки развития, у обоих исследованных сортов риса. Иной была детектирована динамика в условиях затопления. Для проростков Кубань 3 уровень белков не изменялся, но был значительно выше, чем в условиях нормальной аэрации. Для клеток coleoptилей риса сорта Аметист была выявлена совершенно иная тенденция – последовательное увеличение представленности аквапоринов PIP1 в составе плазмалеммы при затоплении.

Таким образом, динамика содержания в составе плазмалеммы протонной помпы и аквапоринов, в целом, соответствует усилению роста coleoptилей риса.

Работа выполнена при поддержке РНФ, грант № 22-14-00096.

ALTERATION IN H^+ -ATPase AND AQUAPORINES PIP1 DURING ELONGATION GROWTH OF COLEOPTILE CELLS IN RICE SEEDLINGS UNDER NORMOXIA AND SUBMERGENCE

Kirpichnikova A.A., Daneliya G.V., Biktasheva M.O., Yemelyanov V.V., Shishova M.F.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Key words: elongation growth, submergence, rice, H^+ -ATPase, aquaporins

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ *PINUS SYLVESTRIS* L. В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ МЕСТООБИТАНИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА

Климова В.Н., Чукина Н.В.* , Лукина Н.В.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: nady_dicusar@mail.ru

Ключевые слова: сосна обыкновенная, анатомия хвои, антиоксиданты, фотосинтетические пигменты, техногенные субстраты

В Уральском регионе *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная) является основной хозяйственно-ценной лесобразующей породой. Благодаря пионерной экологической стратегии этот вид успешно поселяется на нарушенных местообитаниях. В связи с чем особенно актуальными становятся исследования адаптивного потенциала сосны обыкновенной в условиях техногенного стресса. Цель работы – сравнительный анализ структурно-функциональных характеристик *P. sylvestris* в естественных и трансформированных местообитаниях Среднего Урала, а также оценка влияния свойств субстрата на анатомо-морфологические и физиологические параметры хвои.

Отбор растительного материала и проб почв проводился на 10 опытных площадках отвалов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности Свердловской области (Анатолюско-Шиловское месторождение асбеста, Шабровское месторождение тальк-магнезита, месторождение россыпного золота Увальное, золоотвалы Нижнетуриной и Верхнетагильской ГРЭС) и 4 контрольных участках естественного лесного фитоценоза. На исследованных промышленных отвалах основными негативными факторами для растений выступают: высокая инсоляция, водный дефицит, дисбаланс макро и микроэлементов в субстрате. Показано, что в условиях трансформированных местообитаний в хвое *P. sylvestris* происходило достоверное уменьшение площади поперечного сечения хвои, площади центрального цилиндра и числа смоляных ходов. Реакция пигментного комплекса растений сосны с разных техногенных субстратов не имела однонаправленных тенденций. На отвалах добывающей промышленности (добыча тальк-магнезита и асбеста) происходило снижение общего фонда пигментов в хвое. В условиях золоотвалов, напротив, отмечено усиление синтеза пигментов, что свидетельствует об относительной устойчивости фотосинтетического аппарата к стрессовым условиям данных местообитаний.

Неблагоприятные условия среды приводили к развитию у растений *P. sylvestris* окислительного стресса, о чем свидетельствует усиление уровня перекисного окисления липидов в хвое деревьев, произрастающих на промышленных отвалах. Однако изменения в содержании низкомолекулярных антиоксидантов в хвое растений сосны зависели от свойств техногенного субстрата. Показано, что при увеличении щелочности субстрата в хвое сосны усиливалось накопление антиоксидантов (аскорбат, пролин, флавоноиды). Обнаруженные изменения анатомоморфологических и физиологических показателей способствуют адаптации сосны обыкновенной к условиям техногенно нарушенных местообитаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2023-0019.

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. IN NATURAL AND TRANSFORMED HABITATS OF THE MIDDLE URALS

Klimova V.N., Chukina N.V., Lukina N.V.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: Scots pine, needle anatomy, antioxidants, photosynthetic pigments, technogenic substrates

РОЛЬ РИЗОБАКТЕРИЙ В СТАБИЛИЗАЦИИ МЕДИ КОРНЯМИ РАСТЕНИЙ

Крючкова Е.В.

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов,
ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия

*E-mail: kryu-lena@yandex.ru

Ключевые слова: глифосат, медь, PGPR-ризобактерии, стимулирующие рост растений, транспорт, транслокация

Медь является одним из основных загрязнителей активно возделываемых сельскохозяйственных земель. Её биодоступность и транспорт в сельскохозяйственные культуры зависят от физико-химических свойств почвы, концентрации металла, вида и сорта растений, активности ризосферной микрофлоры. Ризобактерии используют разные механизмы, влияющие на биодоступность и токсичность тяжёлых металлов: изменение степени окисления, метилирование, иммобилизацию и биосорбцию поверхностными биомакромолекулами, синтез сидерофоров, солюбилизацию фосфатов и мн. др.

Исследовано влияние инокуляции штаммом *Enterobacter cloacae* K7 на транспорт и транслокацию меди и её комплексов с глифосатом в растениях люцерны посевной (*Medicago sativa* L.), мягкой яровой пшеницы «Саратовская 29» (*Triticum aestivum* L.) и горчицы белой (*Sinapis alba* L.). *E. cloacae* K7, обладающий такими свойствами ростостимуляции как: биосинтез ауксина, энтеробактина, АЦК деаминазы, солюбилизации фосфатов и повышенной продукцией экзополисахаридов в ответ на загрязнения, повышал стабилизацию металла на корнях, у растений пшеницы (*исключатели*) и горчицы (*фитоэкстракторы*), однако, способствовал большему (в 1,3 раза) накоплению меди растениями люцерны.

Общее накопление меди горчицей составило 99 мг/кг, а у бактеризованных растений на 20% меньше – 78 мг/кг. Распределение концентрации металла между корнями и стеблями происходило поровну. В надземных частях необработанных растений металл аккумулировался преимущественно в листьях и цветочных органах. У бактеризованных растений содержание меди уменьшалось в генеративных органах на 30% и в стеблях на 40%, но осталось неизменным в листьях и корнях.

У обработанной штаммом K7 пшеницы содержание ионной меди в листьях было на 50% меньше по сравнению с неинокулированным контролем, а в корнях не изменялось. Интенсивность транслокации хелатированной глифосатом меди из корней в листья повышалась в 2,3 раза, а инокуляция снижала транспорт комплексов в побеги. У люцерны общее количество поглощённой меди в составе комплексов было в 2,5 раза выше, чем в ионной форме, а бактеризация не изменила этот показатель.

Таким образом, бактерии *E. cloacae* K7 предотвращали транслокацию меди в побеги, как в свободном, так и в хелатированном состоянии, достоверно не изменяя общее количество поглощенного металла, за исключением люцерны. Исследуемый штамм можно использовать в качестве защитного агента для некоторых сельскохозяйственных культур.

THE ROLE OF RHIZOBACTERIA IN COPPER STABILIZATION BY PLANT ROOTS

Kryuchkova Ye.V.

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms,
FSC “Saratov Science Center RAS”, Saratov, Russia

Key words: glyphosate, copper, PGPR-plant growth promotion rhizobacteria, transport, translocation

ТРАНСПОРТ ЖАСМОНАТОВ ИЗ КОРНЕЙ В ПОБЕГИ РАСТЕНИЙ ГОРОХА ПРИ ЗАСОЛЕНИИ

Кудоярова Г.Р.* , Ахиярова Г.Р., Вафина Г.Х., Веселов Д.С.

Уфимский институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: guzel@anrb.ru

Ключевые слова: *Pisum sativum*, жасмонаты, ксилема, липид транспортирующие белки, транспирация

Участие жасмонатов в передаче сигналов между поврежденными и интактными листьями обсуждается в основном в связи с индукцией защитных реакций растений на патогены. Вместе с тем, накоплено немало сведений о роли жасмонатов в реакции растений на действие абиотических факторов. Однако не изучалось влияние засоления на транспорт жасмонатов из корней в побеги.

Мы оценили влияние засоления на концентрацию жасмонатов в ксилемном соке, а также с помощью иммуногистохимии выявили присутствие жасмонатов в клетках зоны загрузки ксилемных сосудов в корнях и их разгрузки в листе, а также изменение уровня этих гормонов при засолении. Параллельно оценивалось содержания липид транспортирующих белков (ЛТБ) в ксилеме. Способность этих белков связывать жасмонаты была показана в экспериментах *in vitro*. Однако их возможная роль в транспорте жасмонатов *in vivo* не изучалась. В данной работе были использованы антитела к жасмонатам (Agriseria, Sweden) и сыворотка, обладающая кросс-реактивностью с ЛТБ гороха, полученная коллегами из Института биоорганической химии.

Впервые выявлено присутствие ЛТБ в ксилемном соке растений гороха, а также в апопласте ксилемных сосудов корней и листьев. Показано, что уже через 1,5 часа после начала действия засоления происходит увеличение концентрации жасмонатов и ЛТБ в ксилемном соке растений гороха, и возрастание их уровня в апопласте клеток ксилемы корней. Через 4,5 часа на фоне засоления уровень жасмонатов возрастал в мезофилле листа и замыкающих клетках устьиц. К этому времени, в соответствии с возрастанием уровня жасмонатов в устьицах, было зарегистрировано снижение устьичной проводимости. Эксперименты с обработкой листьев метилированной жасмоновой кислотой подтвердили способность жасмонатов закрывать устьица у растений данного вида и возраста. Зарегистрированное в данной работе возрастание уровня жасмонатов к ксилеме корней растений гороха под влиянием засоления, приводящее к увеличению уровня этого гормона в клетках листа, подтверждает роль корней в повышении содержания жасмонатов в побеге, что способствует закрытию устьиц. Одновременное изменение уровня ЛТБ и жасмонатов и сходство в их локализации указывает на возможную роль образования комплекса между ними в передаче сигналов о засолении из корней в побеги.

Исследования выполнены при поддержке РФФ (грант 23-24-00187).

TRANSPORT OF JASMONATES FROM ROOTS TO SHOOTS OF PEAS PLANTS DURING SALINIZATION

Kudoyarova G.R., Akhiyarova G.R., Vafina G.H., Veselov D.S.

Ufa Institute of Biology, RAS, Ufa, Russia

Key words: *Pisum sativum*, jasmonates, xylem, lipid transfer protein, transpiration

ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ ФИТОМЕЛАТОНИН НОВЫМ ГОРМОНОМ РАСТЕНИЙ?

Кузнецов В.В.* , Бычков И.А., Кудрякова Н.В.

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

*E-mail: vkusnetsov2001@mail.ru

Ключевые слова: мелатонин, сигналинг, стресс, фитогормоны, фитомелатонин

Мелатонин (N-ацетил-5-метокситриптамин) является гормоном животных и мощным антиоксидантом. Большинство исследователей считают, что исходная функция мелатонина была антиоксидантной, а другие функции появились позднее в ходе эволюции. Мелатонин, открытый в растениях в 1995 году и позднее названный фитомелатонином (ФМТ), регулирует многие этапы онтогенеза растений, начиная от прорастания семян и заканчивая процессом старения. Все больший объем экспериментальных данных показывают, что ФМТ повышает устойчивость растений в условиях действия как абиотических, так и биотических стрессов. Причем, свою функциональную активность ФМТ реализует, взаимодействуя практически со всеми известными фитогормонами. Сейчас довольно хорошо изучен биосинтез ФМТ, его полифункциональная активность, открыт первый рецептор и некоторые компоненты цепи его сигналинга. Вся имеющаяся в настоящее время информация о ФМТ, по нашему мнению, позволяет считать ФМТ новым гормоном растений. Подобную же позицию занимают и ряд других исследователей. Однако называть фитомелатонин «главным регулятором», «регуляторным хабом» и т.д. не вполне корректно, поскольку в растении каждый фитогормон является главным в регуляции какой-либо функции. Более того, большинство процессов в растении регулируется несколькими фитогормонами одновременно. Будущие исследования механизма действия фитомелатонина внесут ясность в те вопросы, которые сейчас являются дискуссионными.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-14-00011.

IS PHYTOMELATONIN A NOVEL PLANT HORMONE?

Kusnetsov V.V., Bychkov I.A., Kudryakova N.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the RAS, Moscow, Russia

Key words: melatonin, signaling, stress, phytohormones, phytomelatonin

КУТИНСОМЫ – БИОНАНОСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТКАНЕЙ *MALUS DOMESTICA* BORKH.

Кумахова Т.Х.^{1*}, Воронков А.С.²

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

²Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: tkumachova@gmail.com

Ключевые слова: кутин, кутикула, плазматическая мембрана, пластиды, трансмембранный транспорт

Исследование механизмов формирования кутикулы, одной из важнейших эволюционных приобретений сосудистых растений (Tracheophyta) в связи с выходом на сушу и её роли в их жизни, до сегодняшнего дня не теряет своей актуальности. Полиэфиры, участвующие в образовании кутикулярного покрова, рассматривают как эволюционно оптимизированные многофункциональные биополимеры, контролирующие многие аспекты биологии современных растений. Важнейшими из них считаются защита от чрезмерной потери влаги и проникновения патогенов, а также экранирующая роль от чрезмерного воздействия УФ излучения. Основой растительной кутикулы являются два липидных компонента: нерастворимый кутин, составляющий матрикс, и растворимые воска. Общеизвестным механизмом биосинтеза кутина и воска считается ферментативный, в который вовлечены кутин-синтаза и множество других ферментов. В то же время, в литературе обсуждается неферментативный путь, в котором формирование кутикулы происходит с участием наноструктур – кутинсом.

Нами были получены новые сведения о бионаноструктурах – кутинсомах, участвующих в формировании кутикулы на поверхности листовой пластинки и перикарпия *Malus domestica* Borkh (*Malus* Mill., *Rosaceae*), интродуцированной в горы на высотах 1500 и 1750 м над уровнем. Методом ТЭМ идентифицированы кутинсомы, представляющие собой электронно-плотные структуры сферической формы и продемонстрировано, что местом синтеза их составных нанокомпонентов могут являться пластиды. Впервые визуализирован трансмембранный перенос кутинсом в собственно кутикулу клеточных стенок путем экзоцитоза. Установлено, что в выведении наноструктур из клетки непосредственное участие принимает плазматическая мембрана. Наночастицы кутинсом в виде ожерельевидных образований выстраиваются цепочкой по периферии клетки, сливаются в более крупные конгломераты и загружаются в инвагинации плазмалеммы, а затем в мембранной упаковке перемещаются в собственно кутикулу, покрывающую как наружные так, и внутренние стенки клеток поверхностных тканей. Полученные нами материалы дополняют имеющиеся в литературе представления о неферментативном пути формирования кутикулы, в котором участвуют наноструктуры – кутинсомы, и расширяют внутриклеточную географию задействованных в этом процессе компартментов клетки.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700043-9).

CUTINSOMES – BIONANOSTRUCTURES OF SURFACE TISSUE *MALUS DOMESTICA* BORKH.

Kumachova T.Kh.¹, Voronkov A.S.²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: cutin, cuticle, plasma membrane, plastids, transmembrane transport

ДИНАМИКА ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ *CAMELIA SINENSIS* В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**Лагошина А.Г., Белоус О.Г.* , Пчихачев Э.К.**Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр Российской академии наук»,
Сочи, Россия**E-mail: oksana191962@mail.ru***Ключевые слова:** растения чая, листья, вегетация, динамика, каталаза

Являясь представителем субтропической флоры, чай в почвенно-климатических условиях предгорной зоны Адыгеи испытывает стрессы в зимний и летний периоды, особенно в последние годы из-за изменений климата, проявляющихся в жестких длительных летних засухах и малоснежных зимах. В целях оптимизации выращивания чая в Адыгейском филиале ФИЦ СЦ РАН в 2020-2023 гг. был проведен опыт по изучению эффективности применения агрохимикатов стимулирующего и адаптогенного действия. Объекты исследований – растения чая сортопопуляции 'Кимынь'. Агрохимикаты: гумат натрия (производственный контроль), рокогумин и бомбардир; контроль – обработка растений водой.

Рассматривался такой физиологический параметр, как «активность каталазы» в качестве диагностического критерия оценки функционального состояния растений в стрессовые периоды. Исследования показали, что активность фермента в листьях чая в период вегетации растений колеблется в пределах 129 мл О₂/г, при этом наблюдаются существенные скачки активности, связанные как с особенностями биологии растений (наличие летнего покоя), так и с погодными условиями периода наблюдений. С началом активной вегетации (май) происходит рост ферментативной деятельности, на этот период приходится пик формирования флешей и уже в середине мая происходит первый сбор чая, составляющий 50 % от всего годового сбора. В дальнейшем у чая наблюдается июньское торможение роста побегов, что является биологически обусловленным процессом и сопровождается снижением активности фермента. Однако данный период часто совпадает с наступлением засухи и выход растений из июньского покоя бывает затруднен и при длительном засушливом периоде потери урожая ощутимы. Следующий период активности каталазы приходится на осенний период, что связано с активизацией генеративных процессов и подготовкой растений к зимнему периоду.

Обработка растений агрохимикатами стабилизировала функциональные процессы, смягчая действие стрессовых факторов. На вариантах с внесением агрохимикатов активность фермента в листьях чая в летний стрессовый период существенно ниже, чем на контроле (НСР₀₅ = 3,67). При этом, растения, обработанные гуматом натрия оказались лучше подготовленными и к зимнему покою, о чем свидетельствует более высокая активность каталазы в ноябре (149,02 мл О₂/г при 113,48–141,13 мл О₂/г на остальных вариантах). На данном варианте и более низкий уровень ферментативной активности в период выхода из состояния зимнего покоя, что свидетельствует об оптимальном состоянии растений после перезимовки.

*Работа выполнена в рамках ГЗ FGRW-2022-0012, рег. № 1021052906669-9-4.4.1;1.6.11***DYNAMICS OF ENZYMATIC ACTIVITY OF *CAMELIA SINENSIS* IN THE CONDITIONS OF THE FOOTHILL ZONE OF THE NORTH-WESTERN CAUCASUS****Lagoshina A.G., Belous O. G., Pchihachev E.K.**

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia

Key words: catalase, dynamics, leaves, tea plants, vegetation

СХОДСТВО ТРАНСПОРТНЫХ БЕЛКОВ ВИРУСОВ РАСТЕНИЙ И РЕТИКУЛОНОВ РАСТЕНИЙ

Лазарева Е.А.^{1*}, Лезжов А.А.¹, Чергинцев Д.А.¹,
Хейнлайн М.², Морозов С.Ю.¹, Соловьев А.Г.¹

¹Отдел биохимии вирусов растений, НИИ ФХБ им. А.Н. Белозерского, МГУ им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

²Институт молекулярной биологии растений, университет Страсбурга, Страсбург, Франция

*E-mail: lazareva-katrina@mail.ru

Ключевые слова: вирусы растений, межклеточный транспорт, плазмодесма, ретикулоны

Вирусы растений кодируют транспортные белки, которые обеспечивают транспорт вирусных геномов через плазмодесму (ПД) и используют клеточные эндомембраны, главным образом мембраны эндоплазматического ретикулума (ЭПР), для доставки вирусных геномов к ПД и формирования ПД-заякоренных вирусных репликативных компартментов. В фокусе работы изучение модификации ПД и эндомембран в присутствии транспортных белков вирусов с двойным (ВМВ) и тройным (ТГВ) блоками транспортных генов.

Были получены генно-инженерные конструкции, включая транспортные белки, слитые с флуоресцентными белками, и белок растений ретикулон. Конструкции экспрессировали в листе *Nicotiana benthamiana* с помощью агробактериальной трансформации. Визуализацию проводили методом конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, метод FRAP использован для оценки состояния трубочек кортикальной сети ЭПР и метод BiFC для изучения топологии белка. Мы показали, что второй транспортный белок вируса зеленой пятнистости гибискуса ВМВ2, интегральный белок мембран ЭПР, модифицирует трубочки ЭПР, пережимая их и снижая мобильность люменального содержимого, и проявляет сродство к мембранам с высокой степенью искривления. Эти свойства типичны для белков клетки ретикулонов, которые определяют формирование трубочек ЭПР, обеспечивая искривление мембран вплоть до полного их пережатия. Показано, что ВМВ2, будучи не гомологичным ретикулонам по аминокислотной последовательности, тем не менее обладает такой же W-подобной топологией в мембранах ЭПР, как и ретикулоны. ВМВ2 направленно транспортируется к ПД и увеличивает ее пропускную способность, что коррелирует со способностью ВМВ2 пережимать трубочки ЭПР. Помимо этого, ВМВ2 рекрутирует мембраны ЭПР, формируя репликативные компартменты.

Характерные пережатия трубочек ЭПР также были обнаружены в клетках, экспрессирующих второй транспортный белок X-вируса картофеля ТГВ2, а также в клетках, зараженных X-вирусом картофеля. Таким образом, сходство транспортных белков с ретикулонами, вероятно, характерно для многих РНК вирусов.

Мы предполагаем, что индукция пережатий транспортными белками способствует увеличению пропускной способности ПД, возможно за счет подмены собственных ретикулонов ПД «ретикулонами» вируса, что обеспечивает межклеточный транспорт вируса.

Большие детали: Lazareva et al., 2020, *New Phytologist*, doi: 10.1111/nph.16905.

PLANT VIRUS-ENCODED MOVEMENT PROTEINS IS SIMILAR TO PLANT RETICULONS

Lazareva E.A.¹, Lezhov A.A.¹, Chergintsev D.A.¹,
Morozov S.Y.¹, Heinlein M.², Solovyev A.G.¹

¹A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Moscow State University, Moscow, Russia

²Institute for Plant Molecular Biology (IBMP-CNRS), University of Strasbourg, Strasbourg, France

Key words: cell-to-cell movement, plant viruses, plasmodesmata, reticulon

РЕАКЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БЕРЕЗЫ НА ЗАСУХУ И НЕДОСТАТОК АЗОТА**Лебедев В.Г.^{1*}, Карунас А.С.¹, Селиванова Е.В.^{1,2}, Шестибратов К.А.¹**¹Филиал ГНЦ ФГБУН Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук, Пущино, Россия²Пущинский филиал ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», Пущино, Россия

*E-mail: vglebedev@mail.ru

Ключевые слова: *Betula pubescens*, *Betula pendula*, глутаминсинтетаза, хлорофилл, цифровое фенотипирование

Глобальное изменение климата приводит к повышению температуры, сокращению количества осадков и возрастанию концентрации CO₂ в атмосфере. Это увеличивает ценность признака засухоустойчивости у лесных древесных пород и лимитирующую роль азота в почве. Береза является основной лиственной породой в России, и мы оценивали ее реакцию на дефицит воды и азота. По два генотипа березы пушистой (*Betula pubescens*) и березы повислой (*B. pendula*), а также трансгенный клон березы пушистой с геном *GSI* сосны, кодирующим глутаминсинтетазу – основной фермент метаболизма азота, выращивали в теплице с подкормкой, содержащей азот (15 мМ) или без азота. В течение 30 дней растения подвергали умеренной (45–50% ППВ) или сильной засухе (25–30% ППВ) по сравнению с контрольным вариантом (85–90% ППВ). До и после периода засухи у растений определяли содержание листовых пигментов, а в конце сезона – высоту растений и биомассу по фракциям: ствол, листья, силлептические ветви и листья. Содержание хлорофилла в листьях березы повислой было значительно выше по сравнению с березой пушистой (1,4 и 0,8–0,9 мг/г сырого веса), а у трансгенной линии – несколько выше по сравнению с исходной формой (1,0 и 0,9 мг/г). Недостаток азота снизил содержание хлорофилла на 13–21%, причем у трансгенной линии – в наименьшей степени. Измерение высоты показало, что береза повислая была более устойчивой к дефициту воды, но более чувствительной к дефициту азота, чем береза пушистая. Трансгенные растения во всех вариантах были выше исходного генотипа, причем это различие было максимальным в условиях недостатка азота (на 13–14%). Биомасса листьев среди других фракций меньше всего реагировала на дефицит воды и азота, особенно у генотипов березы пушистой. У трансгенного клона в общей биомассе доля листьев была ниже, а доля ствола выше, чем у остальных генотипов. Анализ размера и формы листьев методом цифрового фенотипирования показал, что у трансгенных растений березы уменьшился размер листьев за счет уменьшения их ширины. Компьютерная обработка изображений выявила зависимость окраски листьев от обеспеченности растений азотом. Полученные результаты улучшают понимание механизмов адаптации древесных растений к неблагоприятным факторам окружающей среды и могут быть использованы при отборе устойчивых генотипов березы с целью лесовосстановления.

Работа была поддержана Российским научным фондом (грант № 22-64-00036).

RESPONSE OF DIFFERENT BIRCH SPECIES TO DROUGHT AND NITROGEN DEFICIENCY**Lebedev V.G.¹, Karunas A.S.¹, Selivanova E.V.^{1,2}, Shestibratov K.A.¹**¹Branch of the Shemyakin and Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, Pushchino, Russia²Pushchino Branch of the Russian Biotechnological University, Pushchino, Russia**Key words:** *Betula pubescens*, *Betula pendula*, glutamine synthetase, chlorophyll, high-throughput phenotyping

ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И НАПРАВЛЕННОЕ ПОВЫШЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Лукаткин А.А.¹, Лукаткин А.С.^{2*}

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», Саранск, Россия

²Независимый исследователь, Саранск, Россия

*E-mail: aslukatkin@yandex.ru

Ключевые слова: глобальное изменение климата, культурные растения, регуляторы роста, способствующие росту растений микроорганизмы, биоудобрения

Глобальные изменения климата, сопровождающиеся повышением средних температур и уменьшением количества осадков на планете, все более затрудняют решение проблемы снабжения продовольствием растущего населения мира. Последствия изменения климата угрожают выживанию многих сельскохозяйственных культур и вызывают смещение зоны возделывания на менее плодородные земли.

Повышение адаптивности сельскохозяйственных культур и их устойчивости к изменениям климата может быть достигнуто за счет ресурсосберегающих технологий, таких как точное земледелие; новых методов селекции растений с более высокой толерантностью и адаптируемостью (в частности, основанных на редактировании генома посредством CRISPR/Cas9); использования феномики растений в качестве инструмента формирования генотипов и сортов, более адаптируемых к проблемам изменения климата; а также применения новых средств защиты и регуляторов роста.

Биостимуляторы могут сыграть решающую роль в смягчении негативного воздействия стрессов высоких температур и засухи на растения, вызывая активацию защитных механизмов, а также физиологические, биохимические и анатомические модуляции. Среди биостимуляторов важную роль играют наноудобрения, биоуголь, улучшители почвы. Особое значение имеют способствующие росту растений микроорганизмы (PGPM) – бактерии или грибы, которые стимулируют иммунную систему растений и усиливают их способность усваивать питательные вещества. Обработка семян и вегетирующих растений биопрепаратами на основе PGPM приводит к улучшению состояния растений и повышению урожайности. В наших исследованиях показано антистрессовое действие биопрепарата на основе *Pseudomonas aureofaciens*, а также комплексного биопрепарата на основе *Pseudomonas chlororaphis* и *Saccharomyces cerevisiae*, которые в условиях высоких температур и засухи усиливали рост и биохимические индексы устойчивости.

Получено много данных об антистрессовом действии аналогов фитогормонов (цитокининов, АБК, брассиностероидов, салициловой кислоты) и препаратов нового поколения на уровень устойчивости и продуктивности зерновых, овощных и технических культур, в том числе в условиях температурного и водного стрессов. С помощью регуляторов роста в условиях температурных и водного стрессов возможно улучшать состояние мембранного комплекса, активность фотосинтеза, транспорт ассимилятов, рост и развитие, и в конечном итоге – продуктивность растения.

GLOBAL CLIMATE CHANGE AND DIRECTED INCREASE IN THE ADAPTIVE ABILITIES OF CULTIVATE PLANTS

Lukatkin A.A.¹, Lukatkin A.S.²

¹N.P. Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

²Independent researcher, Saransk, Russia

Key words: global climate change, cultivated plants, growth regulators, plant growth promoting microorganisms, biofertilizers

ПОЛУЧЕНИЕ ТРАНСГЕННЫХ ЛИНИЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* С ФЛУОРЕСЦЕНТНО МЕЧЕНЫМ БЕЛКОМ АВТОФАГОСОМ ATG8A ДЛЯ ПРИЖИЗНЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ СТРЕСС-ИНДУЦИРУЕМОЙ АВТОФАГИИ

Лыкова Т.Ю.* , Максимова А.И., Добрякова К.С., Войцеховская О.В., Тютерева Е.В.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской Академии Наук,
Санкт-Петербург, Россия
*E-mail: TLykova@binran.ru

Ключевые слова: автофагия, калиевые каналы, солевой стресс, трансформация

Автофагия – процесс деградации внутриклеточных структур с помощью двумембранных везикул – автофагосом, которые изолируют материал и доставляют его в литический компартмент для расщепления. Она играет заметную роль в поддержании гомеостаза клеток растения и позволяет мобилизовать энергетические ресурсы клетки, что необходимо для ответа на различные виды стресса. Повреждающее действие засоления на клетки корня связано с утечкой ионов калия через наружу-выпрямляющие K^+ -каналы GORK. Такая потеря K^+ клетками корня проростков *Arabidopsis thaliana* может приводить к индукции автофагии, сопровождаемой формированием автофагосом.

Целью работы было получение трансгенных линий *A. thaliana*, стабильно экспрессирующих флуоресцентный белок NeonGreen, шитый с белком ATG8a автофагосом, что позволяет характеризовать образование автофагосом с помощью флуоресцентной или конфокальной лазерной сканирующей микроскопии. Вектор для агробактериальной трансформации был получен путём модификации вектора *pLIIBR3*, предоставленного Dr. T. Ott (Университет г. Фрайбург, Германия), содержащего кДНК флуоресцентного белка NeonGreen, которую сливали в рамке считывания с кДНК *ATG8a Arabidopsis thaliana* под контролем промотора убиквитина. Поскольку предстояло проводить агробактериальную трансформацию линий, уже устойчивых к гербициду Баста, то ген *bar*, кодирующий устойчивость к Баста, заменили на кДНК дигидрофолатредуктазы, что позволяет отбирать трансформантов по устойчивости к цитостатику метотрексату (MTX).

Модифицированным вектором трансформировали штамм GV3101pMP90RK *Agrobacterium tumefaciens*, который далее использовался для трансформации цветков (метод «floral dip») *A. thaliana* дикого типа экотипа Wassilewskija, мутантов *gork 1-1*, лишённых калиевого канала GORK, и серии мутантов в бэкграунде *gork 1-1*, комплементированных кДНК либо нативного, либо модифицированного канала GORK под контролем эндогенного промотора (любезно предоставлены Dr. I. Dreyer, Университет Талька, Чили). Семена T_0 проращивались на селективной среде MS2 с добавлением 0,1 мкг/л MTX – ингибитора фермента дигидрофолатредуктазы, необходимого для восстановления дигидрофолата. Устойчивые к MTX проростки, имеющие дополнительную копию гена дигидрофолатредуктазы, через 12-13 дней переносились в грунт (смесь песка, торфа и почвы). Наличие вставки было подтверждено ПЦР и ПЦР-РВ со специфичными праймерами. Для каждого исходного генотипа получено 3-5 независимых линий трансформантов.

ARABIDOPSIS THALIANA TRANSGENIC LINES EXPRESSING FLUORESCENT-TAGGED AUTOPHAGOSOME PROTEIN ATG8A FOR *IN VIVO* STUDY OF STRESS-INDUCED AUTOPHAGY

Lykova T.Yu., Maksimova A.I., Dobryakova K.S., Voitsekhovskaja O.V., Tyutereva E.V.
Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Keywords: autophagy, potassium channels, salt stress, transformation

ТОКСИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ АУКСИНОВ НА ЖИРНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ЭТИОЛИРОВАННЫХ И ЗЕЛЕННЫХ ПОБЕГОВ ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Любушкина И.В.* , Кириченко К.А., Полянская И.В., Полякова М.С.,
Корсукова А.В., Забанова Н.С., Грабельных О.И., Побежимова Т.П.,
Дударева Л.В., Войников В.К.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

*E-mail: ostrov1873@yandex.ru

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., 2,4-Д, жирнокислотный состав, клопиралид, нафтилуксусная кислота

В период прорастания и всходов растения являются наиболее чувствительными к действию неблагоприятных факторов среды. Синтетические аналоги природных ауксинов применяются в сельском хозяйстве в качестве регуляторов роста и гербицидов для обработки посевов пшеницы. Некоторые ауксиновые гербициды имеют длительный период полураспада и могут присутствовать в почве уже на этапе активного роста, нарушая баланс эндогенных ауксинов в развивающихся растениях и приводя к снижению их урожайности. В данной работе изучено токсическое влияние нафтилуксусной (НУК), 2,4-дихлорфеноксиуксусной (2,4-Д) и 3,6-дихлорпиридин-2-карбоновой (клопиралида) кислот на жирнокислотный состав этиолированных и зеленых побегов яровой пшеницы. Проростки выращивались на воде (контроль) или водных растворах ауксинов (1 и 10 мкМ) в течение 4 суток в темноте (26°C) или при 16-часовом фотопериоде (20/23°C). Установлено, что наиболее выраженное действие синтетические ауксины оказывали на зеленые проростки. Общее содержание ненасыщенных жирных кислот (ННЖК) в тканях зеленых побегов при действии ауксинов снижалось на 20–30% по сравнению с контролем и было обусловлено, главным образом, уменьшением содержания α -линоленовой кислоты (C18:3 ω 3), в особенности при действии 2,4-Д и клопиралида. НУК снижала содержание C18:3 ω 3 лишь в концентрации 10 мкМ. Клопиралид в изученных концентрациях приводил к изменению процессов десатурации длинноцепочечных жирных кислот C20 и C22-ряда и в этиолированных и в зеленых проростках яровой пшеницы, что может свидетельствовать об его влиянии либо непосредственно на активность соответствующих десатураз, либо на экспрессию их генов. Причиной снижения содержания ННЖК в тканях зеленых побегов яровой пшеницы являлось, вероятно, усиление процессов перекисного окисления липидов, на что указывало увеличение содержания продуктов реакции с тиобарбитуровой кислотой. При этом 2,4-Д и клопиралид вызывали снижение содержания хлорофиллов и каротиноидов. Таким образом, можно предположить, что основное токсическое действие 2,4-Д и клопиралида у зеленых проростков яровой пшеницы заключалось в нарушении функционирования фотосинтетического аппарата.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России для СИФИБР СО РАН (рег. № НИОКТР – 122041100049-0).

TOXIC INFLUENCE OF SYNTHETIC AUXINS ON THE FATTY ACID COMPOSITION OF ETHIOLATED AND GREEN SHOOTS OF SPRING WHEAT SEEDLINGS

Lyubushkina I.V., Kirichenko K.A., Polyanskaya I.V., Polyakova M.S., Zabanova N.S.,
Korsukova A.V., Grabelnych O.I., Pobezhimova T.P., Dudareva L.V., Voinikov V.K.
Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia

Key words: *Triticum aestivum* L., 2,4-D, fatty acid composition, clopyralid, naphthylacetic acid

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАСТЕНИЙ И ГРИБОВ ПРИ РАЗНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Лянгузова И.В.

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: ILyanguzova@binran.ru

Ключевые слова: сосудистые растения, базидомицеты, тяжелые металлы, промышленное загрязнение, Кольский полуостров

В настоящее время проблема экологической безопасности получает все более широкое распространение. Недревесные ресурсы леса (лекарственные растения, ягоды и грибы) традиционно употребляются в пищу народами северных стран. Цель настоящей работы – оценка экологической безопасности недревесных ресурсов леса на основе сравнительного анализа содержания Ni, Cu, Co, Pb, Cd в растительном сырье за 2 периода наблюдений: 1980–1999 и 2000–2023 гг. при высокой и сниженной интенсивности эмиссии поллютантов. Материал собран в средневозрастных сосновых лесах, расположенных на разном удалении (80, 30–40, 10–15 км) от комбината «Североникель» (Мурманская обл.). Объектами исследования были листья и ягоды *Vaccinium vitis-idaea* L., *V. myrtillus* L., *V. uliginosum* L., а также плодовые тела базидомицетов *Leccinum versipelle* (Fr.) Snell, *Leccinum scabrum* (Bull.) Gray, *Suillus luteus* (L.) Roussel, р. *Russula* Pers. и *Lactarius rufus* (Scop.) Fr. Уровень загрязнения местообитаний оценивали на основе содержания кислоторастворимых форм Ni и Cu в верхнем органогенном горизонте Al-Fe-гумусовых подзолов.

Установлено, что несмотря на многократное снижение объемов атмосферных выбросов комбинатом «Североникель», в настоящее время сохраняется очень высокая степень фитотоксичности почв в радиусе 20–30 км от комбината. Уровень накопления тяжелых металлов в плодовых телах грибов очень значительно превышает их ПДК: для Ni это превышение достигает 160 крат, для Cu – 10 крат, для Pb – 5 крат, для Cd – 34 крат, что свидетельствует о непригодности использования исследуемых видов грибов в пищу. Содержание потенциально токсичных элементов Cu, Pb, Cd в ягодах черники, брусники, голубики, вороники не превышает их ПДК на всей обследованной территории. Однако содержание Ni в ягодах кустарничков в 1,5–4,0 раза превышает его ПДК, что свидетельствует об экологической угрозе безопасного употребления ягод в пищу местным населением. За сравниваемые периоды наблюдений максимальное снижение содержания Ni и Cu в 6–8 раз обнаружено в листьях вороники, а минимальное (менее 3 раз) – в листьях черники. Уменьшение содержания тяжелых металлов в ассимиляционных органах лекарственных растений обусловлено меньшим количеством пылевых частиц, поступающих из загрязненного воздуха на поверхность листовой пластинки в процессе седиментации.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФ (проект №23-26-00193).

ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF PLANTS AND FUNGI AT DIFFERENT INTENSITY OF AIROTECHNOGENIC POLLUTION

Lyanguzova I.V.

V.L. Komarov Botanical Institute of RAS, Saint-Petersburg, Russia

Key words: vascular plants, basidiomycetes, heavy metals, industrial pollution, Kola peninsula

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОТЕОМА ПШЕНИЦЫ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM*) В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Макеева А.А.* , Мамаева А.С., Азаркина Р.А., Ганаева Д.Р.,
Ковальчук С.И., Зиганшин Р.Х., Фесенко И.А.

ФГБНУ ГНЦ «Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина
и Ю.А. Овчинникова РАН» (ФГБНУ ГНЦ ИБХ РАН), Москва, Россия

*E-mail: aryamakeeva@gmail.com

Ключевые слова: засуха, протеомика, пшеница, регуляторные пептиды

Физиологический ответ растений на недостаток влаги – сложный процесс, включающий в себя ингибирование роста, снижение интенсивности фотосинтеза, закрытие устьиц. Молекулярные механизмы ответа на засуху изучены меньше и, обычно, заключаются в синтезе осморегуляторных белков и антиоксидантных ферментов. Анализ протеома растений в условиях водного дефицита позволит лучше понять механизмы адаптации к засухе и разработать технологии для повышения устойчивости и урожайности. Целью нашего исследования являлось изучение ответа *Triticum aestivum* на недостаток влаги на протеомном уровне.

Пшеницу выращивали на среде Хогланда 7 дней до появления 2–3 настоящих листьев, условия засухи имитировали 20% полиэтиленгликолем в течение 8 дней. Белок из растительного материала экстрагировали фенольным методом, далее проводили трипсинолиз в растворе. Триптические пептиды обрабатывали изобарными метками iTRAQ, фракционировали, затем осуществляли масс-спектрометрический анализ.

Мы идентифицировали 5140 белковых групп в листьях и 7244 в корнях. В ответ на засуху в корнях значимо менялось 175 белковых групп (ANOVA, p -value < 0,01), среди них были перепредставлены белки, вовлеченные в процесс деления клетки. Также повышалось количество LEA-белков, дегидринов, белков ремоделинга клеточной стенки и ряда стрессовых белков. В листьях обнаружено 497 меняющихся белковых групп; были перепредставлены группы, регулирующие биосинтез абсцизовой кислоты, протеолиз и ответ на окислительный стресс. Снижалось содержание белков фотосинтетического аппарата, трансляции и некоторых белков ассимиляции азота. Интересно, что обнаруженное нами повышение содержания цистеин-богатых пептидов nsLTPs (non-specific Lipid-Transfer Proteins) при засухе подтверждалось и при анализе транскриптомных данных из открытых источников.

Таким образом, мы выявили комплексные изменения в протеомах корней и листьев пшеницы при засухе. Потенциально значимой частью ответа на осмотический стресс может быть группа пептидов nsLTP, количество которых повышалось при засухе. Они вовлечены в регуляцию спектра физиологических процессов и в дальнейшем могут быть использованы для разработки новых биотехнологий на основе синтетических пептидов.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Грант № 23-66-10013).

ANALYSIS OF *TRITICUM AESTIVUM* PROTEOME UNDER DROUGHT STRESS

Makeeva A.A., Mamaeva A.S., Azarkina R.A., Ganaeva D.R.,
Kovalchuk S.I., Ziganshin R.C., Fesenko I.A.

Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, RAS, Moscow, Russia

Key words: drought, proteomics, regulatory peptides, wheat

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОГО САЛИЦИЛАТА НА РАЗВИТИЕ АЭРЕНХИМЫ И РЕДОКС-СТАТУС В СЕМЕННЫХ КОРНЯХ ЯЧМЕНЯ ПРИ ГИПОКСИИ**Малыгин М.В.* , Показаньева М.В., Ермошин А.А., Киселева И.С.**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: astett8@gmail.com

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, гипоксия, лизигенная аэренхима, салициловая кислота, АФК, пероксидазы

Содержание кислорода в среде является важным фактором жизни растений. Уменьшение его концентрации приводит к гипоксии в органах и тканях. У культурных злаков, в том числе ячменя *Hordeum vulgare*, в ответ на гипоксию формируется лизигенная аэренхима, через которую гипоксичные органы и ткани снабжаются кислородом. Известно, что лизигенная аэренхима формируется при участии апоптоза под влиянием гормонов этилена и ауксина. Ещё одним из предполагаемых гормонов, участвующих в формировании лизигенной аэренхимы, является салициловая кислота (СК).

Для определения роли СК в формировании лизигенной аэренхимы провели гидропонный эксперимент по выращиванию ячменя *Hordeum vulgare* (сор памяти Чепелева) в условиях гипоксии и аэрации с добавлением и без СК в гидропонный раствор (конц. 10^{-5} М). Отбор базальной части семенных корней осуществляли на 8, 18 и 28 день. В образцах измеряли парциальный объём аэренхимы (доля аэренхимы в первичной коре), накопление O_2^- , количество H_2O_2 , активность гваяколовой, бензидиновой и аскорбат-пероксидазы, а также анализ изоформ пероксидаз. По результатам эксперимента, аэренхима образовалась только в условиях гипоксии уже на 8 день (11%). Добавление СК увеличивало объём аэренхимы в 1,5 раза (17,2%). Без добавления СК объём аэренхимы увеличивался к 28 дню на 23,5%. Формирование аэренхимы на 8 день, вероятно, обусловлено увеличением при гипоксии количества O_2^- и H_2O_2 . К 28 дню количество данных АФК снижалось до уровня в корнях контрольных растений, так как возрастала активность пероксидаз при гипоксии. Вероятно, высокая активность пероксидаз в корнях при гипоксии обусловлена как повышением содержания белка в целом, так и появлением лёгких и средних анионных и катионных изоформ. Добавление СК в условиях гипоксии усиливало как накопление АФК, так и активность пероксидаз. Вероятно, АФК необходимы для индукции образования аэренхимы. Роль салицилата в увеличении объёмов аэренхимы на 8 день, вероятно, заключается в повышении количества АФК. Тормозящий рост объёмов аэренхимы эффект СК после 8 дня роста в условиях гипоксии не ясен и требует дальнейшего изучения.

EFFECT OF EXOGENOUS SALICYLIC ACID ON AERENCHYMA FORMATION AND REDOX-STATUS IN BARLEY SEMINAL ROOTS DURING HYPOXIA**Malygin M.V.* , Pokazanieva M.V., Ermoshin A.A., Kiseleva I.S.**

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: *Hordeum vulgare*, hypoxia, lysigenic aerenchyma, salicylic acid, ROS, peroxidases

ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА КАЛИЯ НА РАБОТУ КИНАЗНОГО МОДУЛЯ TOR-SNRK1 У *ARABIDOPSIS THALIANA***Муртузова А.В. *, Тютерева Е.В., Войцеховская О.В.**

Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: AMurtuzova@binran.ru

Ключевые слова: калий, TOR, SnRK1, KIN10, стресс, *Arabidopsis thaliana*

Актуальность исследований механизмов солеустойчивости растений возрастает с каждым годом. Важная роль в устойчивости растений к солевому стрессу принадлежит цитоплазматическому калию – макроэлементу и осмотику. Его цитозольный гомеостаз необходим для поддержания активности ряда ферментов, участвующих в реакциях анаболизма. Часто ферменты, которым для своей активности необходим K^+ , катализируют реакции с использованием АТФ, что влияет на энергетический статус клетки.

У растений центральным интегратором программ анаболизма является протеинкиназный комплекс TOR, который активен при благоприятных условиях. Стресс, связанный с дефицитом энергии, приводит к активации киназы SnRK1, которая ингибирует TOR, что активирует катаболические программы. Хотя предположение о возможной роли K^+ как «метаболического переключателя» между ана- и катаболизмом было высказано давно, вопрос остается малоизученным, как и возможное участие крупнейших регуляторных киназ TOR и SnRK1 в сигнальном каскаде ответа на уровень калия в клетках.

Нами впервые исследовалось влияние хронического дефицита калия в среде выращивания на активность киназ TOR и SnRK1 у проростков *Arabidopsis thaliana* с разным уровнем экспрессии гена, кодирующего каталитическую субъединицу SnRK1 KIN10. Изучено влияние дефицита калия на энергетический обмен, изменение уровня активности TOR и механизм активации автофагического потока.

Показано, что дефицит калия приводит к ингибированию киназы TOR и роста проростков, а также к активации автофагии. Добавление в среду выращивания активатора TOR – глюкозы – приводит к снижению ингибирующего эффекта, что свидетельствует об отсутствии потребности в калии для ферментативной активности TOR и развитии ответа на дефицит калия по глюкозо-независимому пути.

У растений дикого типа, выращенных на средах с низким калием, наблюдалось увеличение автофагического потока. У растений-сверхэкспрессоров дефицит K^+ не приводил к дополнительной индукции автофагии, а в линиях со сниженной активностью SnRK1 уровень автофагического потока был низким вне зависимости от концентрации калия в среде выращивания. Результаты показывают, что при дефиците калия запуск автофагии частично обусловлен ингибированием киназы TOR SnRK1, а частично реализуется напрямую через SnRK1 независимо от TOR.

Исследование поддержано РФФ №18-16-00074, РФФИ № 20-34-90138.

THE EFFECT OF POTASSIUM DEFICIENCY ON THE ACTIVITY OF THE TOR-SNRK1 KINASE MODULE IN *ARABIDOPSIS THALIANA***Murtuzova A.V., Tyutereva E.V., Voitsekhovskaja O.V.**V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, Russia**Key words:** potassium, TOR, SnRK1, KIN10, stress, *Arabidopsis thaliana*

ЗАЩИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТОЙ ШУМАНОВСКОГО РЕЗОНАНСА НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАСТЕНИЯХ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Мшенская Н.С.* , Синицына Ю.В., Кальясова Е.А.,
Ашутова Е.А., Клепиков В.А., Мелузов М.Н.

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

*E-mail: jsin@inbox.ru

Ключевые слова: засухоустойчивость, магнитные поля, антиоксиданты, пролин

Ряд исследований показывает, что низкочастотные магнитные поля, регулируя протекание окислительных процессов в клетках, могут повышать устойчивость растений к действию неблагоприятных факторов среды. Можно ожидать проявление протекторного эффекта от действия магнитных полей с характеристиками, близкими к естественным, поскольку живые организмы в процессе эволюции могли выработать механизмы их восприятия. Целью работы было исследование состояния окислительных процессов и антиоксидантных систем растений пшеницы в условиях засухи при воздействии магнитного поля с частотой второй гармоники Шумановского резонанса. Растения экспериментальной группы выращивали в установке, генерировавшей магнитное поле с частотой 14,3 Гц и магнитной индукцией 18 мкТл, контрольной группы – без дополнительного искусственного магнитного поля.

Показано, что магнитное поле не влияло на относительное содержание воды в растениях и почве, однако засуха снизила данный показатель и в растениях, и в почве. Магнитное поле стабильно снижало интенсивность окислительных процессов как в условиях нормального полива, так и засухи: действие засухи повышало содержание малонового диальдегида на 30%, а дополнительная обработка магнитным полем снижала данный показатель до значений, характерных для интактных растений. Активность каталазы была понижена под действием магнитного поля в условиях нормального полива и засухи. Суммарная пероксидазная активность пероксидазы не модифицировалась при воздействии магнитным полем как при нормальном поливе, так и при засухе. Магнитное поле не влияло на содержание пролина у растений, не испытывавших водный дефицит. Засуха увеличивала содержание пролина в листьях растений в несколько раз по сравнению с контролем, причем дополнительная обработка магнитным полем вызвала еще большее накопление этого осмолита. Таким образом, магнитное поле с частотой 14,3 Гц и напряженностью 18 мкТл показало защитный эффект на растения пшеницы, снижая интенсивность окислительных процессов как в условиях нормального полива, так и засухи и вызывая дополнительное накопление пролина при водном дефиците.

PROTECTIVE EFFECT OF A MAGNETIC FIELD WITH THE FREQUENCY OF SCHUMANN RESONANCE ON OXIDATIVE PROCESSES IN WHEAT PLANTS UNDER DROUGHT CONDITIONS

Mshenskaya N.S., Sinitsyna Yu.V., Kalyasova E.A.,
Ashutova E.A., Klepikov V.A., Meluzov M.N.

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Key words: drought resistance, magnetic fields, antioxidants, proline

РОЛЬ СИГНАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ВЫЗВАННОЙ ХРОНИЧЕСКИМ ОБЛУЧЕНИЕМ МОДИФИКАЦИИ АДАПТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ К СТРЕССОВЫМ ФАКТОРАМ У РАСТЕНИЙ ТАБАКА

Немцова Ю.А.* , Иванова А.В., Печёрина А.А.,
Агеева М.Н., Воденев В.А., Гринберг М.А.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

*E-mail: julnemtsova@yandex.ru

Ключевые слова: ионизирующее излучение, малые дозы, фотосинтез, электрические сигналы

Адаптация растений к воздействию стрессоров осуществляется посредством работы сигнальных систем, включая электрическую. Распространяясь из зоны повреждения, электрические сигналы (ЭС) вызывают изменения в физиологических процессах, что обеспечивает развитие адаптации на уровне всего организма. Преобразование сигнала в функциональный ответ у растений связывают с вызванными ЭС изменениями концентраций ионов, протонов и активных форм кислорода (АФК). Было показано, что повышенный уровень ионизирующего излучения (ИИ) в зоне произрастания растений может влиять на формирование устойчивости к стрессорам. Одной из причин таких изменений может быть модификация ЭС у облучённых растений. Изменения, возникающие под действием ИИ, в сигнально-регуляторных системах с участием Ca^{2+} и рН, являющихся ключевыми участниками преобразования ЭС в функциональный ответ, требуют изучения для понимания специфики формирования адаптации у облучённых растений. Цель работы: определение роли сигнальных систем в вызванной хроническим облучением модификации адаптационных процессов к стрессовым факторам.

В наших исследованиях использовались трансгенные растения табака *Nicotiana tabacum* L., трансформированные флуоресцентным рН-чувствительным зондом Pt-GFP и Ca^{2+} -чувствительным биосенсором Case12. Для облучения использовался закрытый источник ^{90}Sr - ^{90}Y , являющийся β -излучателем. Суммарная накопленная доза составляла около 31,55 мГр. Действие стрессора моделировалось нагревом участка листа. В работе использовались следующие методы: внеклеточная регистрация электрической активности; флуоресцентный анализ изменений внутриклеточного рН и Ca^{2+} ; регистрация активности фотосинтеза методом РАМ-флуориметрии. Результаты экспериментов показали усиление стрессовых сигналов и вызываемых ими ответов фотосинтеза у облучённых растений: ИИ способствовало меньшему затуханию стрессового ЭС при распространении в соседние листья по сравнению с необлучённым контролем; выявлено увеличение амплитуды ответов фотосинтеза, вызванных электрическим стрессовым сигналом; у облучённых растений увеличивались амплитуды сдвигов рН и Ca^{2+} , сопровождающих генерацию ЭС.

Таким образом, можно сделать вывод о ключевой роли модификации сигнальных систем на основе Ca^{2+} и рН в формировании вызванной стрессовыми сигналами устойчивости к неблагоприятным факторам в условиях облучения.

Работа выполнена при поддержке программы 10 Экспериментальная Лабораторная Астрофизика и Геофизика НЦФМ.

THE ROLE OF SIGNALING SYSTEMS IN CHRONIC IRRADIATION-INDUCED MODIFICATION OF ADAPTATION PROCESSES TO STRESS FACTORS IN TOBACCO PLANTS

Nemtsova Y.A., Ivanova A.V., Pecherina A.A.,
Ageyeva M.N., Vodenev V.A., Grinberg M.A.
Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia

Key words: electrical signals, ionizing radiation, low doses, photosynthesis

СТЕРИНОВЫЙ ПРОФИЛЬ ЯРОВОГО ОВСА (*AVENA SATIVA* L.) ПРИ ОСЕННЕМ Понижении температуры в условиях криолитозоны**Нохсоров В.В.* , Слепцов И.В., Петров К.А.**

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: vv.nokhsorov@mail.ru

Ключевые слова: овес, стерины, ГХ-МС, закаливание, листья

Стерины растений играют ключевую роль в регуляции текучести и проницаемости клеточных мембран. Стерины растений (фитостерины), которые входят в группу изопреноидов, обладают широким структурным разнообразием. Нами изучена динамика изменений молекулярных видов стеринов в листьях ценной злаковой культуры – ярового овса (*Avena sativa* L.) в зависимости от разных сроков посева. В частности, методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС) оценен состав и содержание стеринового профиля и тритерпеновых соединений в листьях овса стандартного срока посева (в начале июня) и позднелетнего срока посева (в середине июля), листья которых подвергались естественному закаливанию к осенним низким температурам криолитозоны Якутии. Информация о динамике изменений стеринов в листьях овса может представлять практический интерес для оценки полезных для человека и животных свойств этого вида. В результате анализа из листьев ярового овса нам удалось идентифицировать 11 стериновых и тритерпеноидных соединений. Стерины выделяли и анализировали из суммарных липидных экстрактов, без предварительной ТСХ очистки или твердофазной экстракции. Листья овса были представлены Δ^0 -, Δ^5 - и Δ^7 – стериновыми компонентами. У овса мы впервые идентифицировали Ψ -таракастерин и тритерпеноид- бетулин. Мажорными компонентами в листьях овса были: бетулин (более 81,1% от суммы стеринов), β -ситостерин (более 7,4% от суммы стеринов), Ψ -таракастерин (более 6,9% от суммы стеринов), остальные компоненты были минорными (менее 2% от суммы стеринов).

Проанализировав стериновый профиль в листьях разного срока посева овса, мы косвенно оценили динамику активности некоторых ферментов, участвующих в биосинтезе стеринов. Соотношение β -ситостерина к кампестерину снижается в листьях I посева на протяжении роста и развития растений овса, а уровень С-22 стерин десатуразы, наоборот, увеличивается. В листьях позднего посева овса (II срок посева) наблюдалась несколько другая динамика изменений данных параметров. Так, было выявлено, что соотношение β -ситостерина к кампестерину увеличивается в ответ на наступление закаливающихся температур воздуха ($1,3 \pm 1,7$ °C), а уровень С-22 стерин десатуразы, наоборот, падает по мере снижения температуры воздуха. Также снижается активность С24-стерин метилтрансферазы в листьях позднелетнего овса в ответ на низкотемпературный стресс и при сокращении фотопериода. В ответ на стрессовые условия, которые происходят в середине сентября и в октябре, увеличивается соотношение стигмастерина к β -ситостерину за счет повышения уровня «стрессового» стерина – стигмастерина в конце октября.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту «Исследование биогеохимических циклов и адаптивных реакций растений бореальных и арктических экосистем северо-востока России», АААА-А21-121012190034-2.

STEROL PROFILE OF SPRING OATS (*AVENA SATIVA* L.) DURING AUTUMN COOLING TEMPERATURE UNDER CRYOLITHOZONE CONDITIONS**Nokhsorov V.V., Sleptsov I.V., Petrov K.A.**

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Key words: oats, sterols, GC-MS, hardening, leaves

ИЗМЕНЕНИЕ БИОИНДИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *PINUS SYLVESTRIS* L. В РЕГИОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АО «КАРЕЛЬСКИЙ ОКАТЫШ»

Опекунова М.Г. *, Никулина А.Р.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: m.opekunova@mail.ru

Ключевые слова: горнорудное производство, металлы, морфологические отклонения, радиальный прирост, загрязнение

«Карельский окатыш» – крупнейший на северо-западе России производитель железорудных окатышей. В 2021–2023 гг. проведены геоэкологические исследования на сети станций мониторинга (СМ) в регионе присутствия АО «Карельский окатыш», в т.ч. на фоновых СМ в Костомукшском заповеднике.

На территории комбината массово проявляется суховершинность деревьев, в 1,5–2,5 раза по сравнению с фоном снижаются возраст и состояние хвои; проективное покрытие эпифитных лишайников на стволах сосен сокращается в 3 раза (23% против 72%), на отдельных СМ снижение на порядок – до 0–5%. К лимитирующим радиальный прирост факторам относится температура воздуха, в т.ч. сумма температур выше +10°C, в июне – сентябре (t от -0,33 до -0,47; $t_{\text{крит.}} = 0,25$ при $p = 0,05$). С 1978 г. (начало строительства комбината) климатический сигнал на контрольных СМ не выражен. Угнетение сосен на комбинате проявляется в уменьшении минимальных и максимальных индексов радиального прироста древесины в 1,5 раза по сравнению с фоном.

Химический состав корки сосны в фоновых условиях на 86,7% определяется химическим составом почв и горных пород. Породный фактор (вес 40,6%) проявляется через парагенезис $\frac{Cu_{97}Cr_{96}Ni_{95}Ba_{77}}{Pb_{84}}$, отдельно выделяется рудная компонента – $Ti_{98}V_{79}$ (16,3%) и концентрация $Zn_{92}Cd_{89}Mn_{88}Fe_{87}$ в органическом веществе почвы (29,8%). На контрольных СМ вес породного фактора уменьшается до 32,3%. Превалирует аэротехногенное загрязнение: от карьеров и отвалов $Mn_{90}Zn_{88}Cd_{79}Ti_{77}Fe_{58}Ni_{37}V_{35}Pb_{34}Cu_{34}$ (31,0%) и от автотранспорта $Pb_{89}Ba_{87}Cu_{35}Cd_{35}$ (18,2%). Подкисление корки атмосферными осадками, содержащими сульфаты, вносит вклад на уровне 9,8%.

Аналогичные факторы влияют на химический состав древесины. В заповеднике породный фактор отражает дифференциацию металлов на фемафильные и фельсифильные $\frac{Ba_{95}K_{91}Pb_{91}}{Sr_{97}Cu_{93}Ni_{91}Mn_{53}}$ (55,0%), выражены рудный $V_{93}Fe_{91}Cr_{73}Mn_{41}$ (23,8%) и органогенный $Cd_{94}Zn_{84}Mn_{66}$ (19,0%) парагенезисы. На контрольных СМ породный фактор представлен металлами основных $Cd_{98}Mn_{92}Cr_{76}V_{73}$ (32,8%) и кислых $Ba_{99}K_{98}Sr_{84}$ (24,8%) пород. Аэротехногенное загрязнение выражено парагенезисом $Zn_{92}Fe_{91}Cu_{90}Ni_{89}V_{64}Pb_{58}Cr_{56}$ (37,3%).

На территории комбината в корке сосны в 1,5–9,0 раз увеличиваются относительно фона концентрации Fe, V, Cr, Ni, Ti; в древесине годовых колец в 1,5–9,5 раз – Fe, V, Cr, Ni, Sr, Zn, Cu.

CHANGES IN THE BIOINDICATION CHARACTERISTICS OF THE SCOTS PINE *PINUS SYLVESTRIS* L. IN THE REGION OF IMPACT OF JSC KARELSKIY OKATYSH

Opekunova M.G., Nikulina A.R.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Key words: mining, metals, morphological deviations, radial growth, pollution

СОРТОВАЯ СПЕЦИФИКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И УСТОЙЧИВОСТИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Осипова Л.В.* , Курносова Т.Л., Быковская И.А., Федорова Е.А.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»),
Москва, Россия

*E-mail: legos4@yandex.ru

Ключевые слова: биофильные элементы, устойчивость

Растения на протяжении всего онтогенеза адаптируются к изменению внешних условий культивирования, стремясь сохранить в пределах нормы физиолого-биохимический статус, обеспечивающий формирование жизнеспособных семян. К настоящему времени установлено, что семенное потомство каждого сорта зависит от погоды, агротехники, применения средств химизации и отличается по продуктивности и качеству зерна. Вопросы элементного состава зерна и его устойчивости к различным абиотическим стрессам недостаточно изучены. В серии лабораторных опытов оценивали содержание биофильных элементов и редокс-активных метаболитов – активных форм кислорода в зерне двух сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare*) Знатный и Белозар различных лет репродукции, выращенных на одном поле коллекционного питомника ФИЦ «Немчиновка». В проростках из зерновок этих сортов определяли устойчивость к осмотическому стрессу по депрессии роста зародышевых корней и ростка, изменению содержания фотосинтетических пигментов и малонового диальдегида (МДА) – показателя редокс-статуса. Содержание макро- и микроэлементов определяли на атомно-эмиссионном спектрофотометре iCAP63 DUO.

Как показали проведенные исследования, поступление биофильных элементов в зерновки обоих сортов зависело от условий превегетации – прохождение онтогенеза в отдельные годы формирования семян на материнском растении. В зерновках ячменя обоих сортов в урожай 2023 года отмечалась тенденция к снижению содержания всех изучаемых макро- и микроэлементов (N, P, K, Ca, Mg, S, Si, Fe, Zn, Cu, Mn, Mo).

Сортовая специфика проявилась в более активном поступлении цинка, железа и меди в зерновки сорта Знатный, а кальция и магния в сорт Белозар в оба года исследований.

Сорта различались также по содержанию в сухих и прорастающих зерновках редокс-активных метаболитов, к которым относятся и активные формы кислорода (АФК), что оценивали по количеству конечного продукта перекисного окисления липидов (ПОЛ) – МДА. Концентрация МДА в ростках и зародышевых корешках проростков из зерновок 2022 года репродукции была больше, чем в 2023 г. у обоих сортов.

При действии стресса, индуцированного осмотическим раствором, депрессия роста проростков сопровождалась повышением интенсивности ПОЛ и активизацией синтеза каротиноидов, что также зависело от условий превегетации и особенностей сорта и было в большей степени выражено в ростках сорта Знатный 2022 года.

VARIETAL SPECIFICITY OF ELEMENTAL COMPOSITION AND STABILITY OF SPRING BARLEY

Osipova L.V., Kurnosova T.L., Bykovskaya I.A., Fedorova E.A.

Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov" (All-Russian Research Institute of Agrochemistry), Moscow, Russia

Key words: biophilic elements, sustainability

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ЭКСТРАКТОВ *DRYOPTERIS FRAGRANS* (L.) SCHOTT, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО НА ПОЛЮСЕ ХОЛОДА – ОЙМЯКОН**Охлопкова Ж.М.^{1*}, Разгонова М.П.²**¹Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия²Дальневосточная опытная станция филиала ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», Владивосток, Россия

*E-mail: zhm.okhlopkova@s-vfu.ru

Ключевые слова: *Dryopteris fragrans*, адаптация, ВЭЖХ-МС/МС, экстракты, полифенолы

Dryopteris fragrans (L.) Schott – многолетний травянистый низкорослый папоротник с коротким корневищем семейства *Dryopteridaceae*. Распространен в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке. Вне Сибири встречается в Северной Европе, Северо-Восточной Азии, Северной Америке. В Якутии встречается во всех флористических районах по каменистым листовичным редколесьям, зарослям кедрового стланика, каменистым россыпям. В якутской народной медицине отвар или настой из листьев щитовника пахучего давали пить при желудочных заболеваниях, параличе, кашле, ломоте в костях.

Целью исследования является изучение фитохимического профиля щитовника пахучего, произрастающего на полюсе холода – Оймякон. Надземная фитомасса растения была собрана в июле 2022 г. во время маршрутно-стационарных экспедиционных работ в окр. уч. Кюбеме Оймяконского района Республики Саха (Якутия). Фитомассу сушили согласно ГОСТ, хранили в условиях холодильника. Было получено три вида экстракта: этанольный, метанольный и сверхкритический CO₂-экстракт, которые проанализированы с помощью ВЭЖХ-МС/МС с ионной ловушкой. Структурную идентификацию соединений проводили на основе их точной массы и фрагментации МС/МС с помощью ВЭЖХ-ESI-ионной ловушки-МС/МС.

По результатам исследования в экстрактах надземной фитомассы щитовника пахучего оймяконской популяции было охарактеризовано 140 биологически активных соединений. Из них 85 соединений представляли полифенолы, 34 из которых были обнаружены впервые для представителей семейства *Dryopteridaceae*. В том числе впервые для данного семейства были обнаружены: лютеолин, витексин, изовитексин, генистеин-6-С-глюкозид, генистеин-8-С-глюкозид, акацетин-8-С-глюкозид, лютеолин-7-О-глюкозид, лютеолин-8-С-глюкозид, лютеолин-6-С-глюкозид, неохлорогеновая кислота, афзелехин, эпикатехин, гесперитин, резвератрол, томенин и др. Не менее интересны для изучения адаптационного потенциала вида впервые обнаруженные для щитовника пахучего соединения других химических групп: кетопрофен, триптофан, линоленовая кислота, производные флороглюцина и др.

RESEARCH OF DIFFERENT CLASSES OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM EXTRACTS OF *DRYOPTERIS FRAGRANS* (L.) SCHOTT, GROWING AT THE POLE OF COLD – OYMYAKON**Okhlopkova Z.M.¹, Razgonova M.P.²**¹North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia²Far Eastern experimental station of the branch of the FRC «All-Russian Institute of Genetic plant resources named after. N.I. Vavilov», Vladivostok, Russia**Key words:** *Dryopteris fragrans*, adaptation, HPLC-MS/MS, extracts, polyphenols

БИОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД СИБИРИ

Парфенова Е.И. *, Чебакова Н.М.

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия;

*E-mail: lyeti@ksc.krasn.ru

Ключевые слова: климатические индексы местообитаний, бонитет насаждений, теория скорости жизни, изменение климата

Биоклиматические статистические модели продуктивности лесов (Tchebakova et al., 2016; Messaoud et al. 2022) показывают, что при потеплении климата бонитет насаждений (средняя высота в определенном возрасте) должен возрастать, если климатические условия местообитания остаются в рамках климатического ареала породы; с потеплением климата должна повышаться секвестрирующая роль лесов. Однако, в последние годы стало появляться все больше публикаций, в которых утверждается, что увеличение продуктивности лесов приведет к их быстрой смертности, отпаду, т.е. лес из стока углерода превратится в источник (Korner, 2007; Bigler & Veblen, 2009; Buntgen et al., 2019 и др.). Эти авторы объясняют свои выводы так называемой Теорией скорости жизни (Rate-of-living theory), выдвинутой (Rubner, 1908; Pearl, 1928). С этой темой пересекается тема роли старовозрастных лесов (Luysaert et al., 2008). По мнению одних исследователей, эти леса углероднейтральны, или даже являются источником углерода (Binkley et al., 2002; Gundersen et al., 2021); по мнению других (Zhou et al., 2006; Luysaert et al., 2018; 2021), они являются стоком и хранилищем огромных запасов углерода в почве и подстилке. В соответствии с Теорией скорости жизни, такие деревья и насаждения обречены быть низкопродуктивными. Цель нашего сообщения – определить климатические условия местообитаний старовозрастных хвойных лесов Сибири.

Материалами для нашей работы послужила база данных насаждений основных хвойных лесобразующих пород Сибири из горных и равнинных местообитаний (1650 описаний с преобладанием в составе определенной породы более 6 единиц). Возраст насаждений колебался в пределах: для кедра – 50–420; для пихты – 70–280; для лиственницы – 100–380; для сосны – 90–350 лет. Климатические параметры насаждений, отражающие тепло-, влагообеспеченность и суровость климата, были получены путем сплайновой интерполяции данных метеостанций Сибири. Для насаждений каждой преобладающей породы был проведен сопряженный анализ возраста насаждения с его климатическими параметрами.

Были получены регрессионные уравнения зависимости возраста насаждения от сумм температур теплого и холодного периодов и индекса сухости. Влагообеспеченность оказалась незначимой для сосновых и пихтовых насаждений. Увеличение возраста для всех насаждений достоверно коррелировало с увеличением суровости климата – суммой температур ниже 0°C. Этот результат мог бы подтвердить теорию R. Pearl (1928) о большей продолжительности жизни организмов в условиях пониженного метаболизма.

Работа выполнена при поддержке базового проекта FWES-2024-0023.

BIOCLIMATIC RELATIONSHIPS OF FOREST-FORMING TREE SPECIES LONGIVITY IN SIBERIA

Parfenova E.I., Tchebakova N.M.

Forest Institute of FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Key words: habitat climate, site index, rate of living theory, climate change

ЭФФЕКТ ГОДОВОГО ЭКСПОНИРОВАНИЯ СЕМЯН САЛАТА *LACTUCA SATIVA* L. НА АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ «ВОСТОК» И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ХРАНЕНИЯ**Платова Н.Г.* , Иноземцев К.О., Шуршаков В.А.**Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем
Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: nataliaspl@inbox.ru

Ключевые слова: Антарктида, морфометрические показатели проростков, станция «Восток», хранение семян, хромосомные aberrации

Антарктические станции представляют уникальные условия для проведения аналоговых экспериментов, воспроизводящих отдельные факторы, имитирующие условия лунных или марсианских баз, например, в данном случае, повышенный радиационный фон. На высокогорной высокоширотной антарктической станции «Восток» повышение радиационного фона обусловлено конфигурацией магнитного поля Земли в области ее расположения. Изучение эффектов радиационного воздействия проводится на модельных биологических объектах, например, семенах овощных культур. На станции «Восток» овощные культуры успешно выращиваются по технологии «панопоника», начиная с 65 Российской антарктической экспедиции (РАЭ). При вегетационном периоде в течение одного месяца величина эквивалентной дозы ($< 0,1$ мЗв) оказывается незначительной для проявления радиобиологических эффектов и последующей оценки возможного негативного влияния таких условий на живые организмы. Однако, длительное хранение семян в таких условиях, характеризуется повышенным уровнем радиационного воздействия (5–7 мЗв/год при значительном вкладе нейтронов), и может сопровождаться выраженным радиационным ответом.

Годовое экспонирование семян салата посевного *Lactuca sativa* L. проводилось в период 64 РАЭ с осуществлением дозиметрического контроля. По возвращении семена проращивались, оценивалась энергия прорастания и всхожесть, измерялась длина корня и гипокотилия на 7 сутки. Далее проростки фиксировались, окрашивались ацеторцеином и проводился цитогенетический анализ в первом митозе меристемы корня. Повторное проращивание проводилось через 2 года 10 месяцев после первого проращивания.

Проростки, полученные из семян, пророщенных сразу после возвращения, имели повышенный процент клеток с хромосомными aberrациями, а также увеличенный процент хромосомных мостов и фрагментов. Отмечено снижение среднего количества делящихся клеток в стадиях ана-телофазы, уменьшение длины корня и увеличение длины гипокотилия. Проростки, полученные из семян после трёх лет хранения в условиях домашнего региона, имели меньшую длину корня и гипокотилия по сравнению с контролем. Отмечена задержка прорастания на 1 сутки и увеличение средневзвешенного значения периода прорастания семян. Хранение семян, экспонированных в Антарктиде, приводит к модификации радиационного ответа.

Работа выполнена в рамках Программ Фундаментальных научных исследований РАН (FMFR-2024-0036) и (FMFR-2024-0042).

EFFECT OF ANNUAL EXPOSURE OF LETTUCE SEEDS *LACTUCA SATIVA* L. ON «VOSTOK» ANTARCTIC STATION AND SUBSEQUENT STORAGE**Platova N.G., Inozemtsev K.O., Shurshakov V.A.**

Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: Antarctica, chromosomal aberration, morphometric characteristics of seedlings, seed storage, «Vostok» station

МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ СУСПЕНЗИОННЫХ КУЛЬТУР КЛЕТОК ТАБАКА ПРИ РАЗНЫХ ТРОФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**Пузанский Р.К.^{1*}, Кирпичникова А.А.², Богданова Е.М.^{1,2},
Шаварда А.Л.^{1,2}, Шишова М.Ф.²**¹Ботанический Институт им. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия,²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: puzansky@binran.ru

Ключевые слова: метаболомика, ВУ-2, культура клеток растений, *Nicotiana tabacum*

Гетеротрофные суспензионные культуры клеток *Nicotiana tabacum* ВУ-2 интересны своим развитием. Они проходят фазы: лаг, роста, стационарную и гибели. Редкой особенностью клеток ВУ-2 является рост растяжением после завершения пролиферации. Развитие культур управляется сигнальными молекулами, обеспечивается метаболическими перестройками и сопровождается изменениями среды. В работе анализировали динамику роста биомассы, рН, концентрации субстрата в среде и метаболом. Профилирование метаболитов проводили методом GC-MS. Измерение концентрации сахарозы, гексоз и дополнительных субстратов в среде проводили методом HPLC-ELSD. Было установлено, что в начальный период развития сахароза активно метаболизировалась, а рН снижался. При этом активизировались процессы синтеза и накапливались свободные аминокислоты, стеринны и жирные кислоты. Переход к росту растяжением ознаменовался репрессией синтетических процессов и активацией углеводного обмена. Старению сопутствовало накопление вторичных метаболитов и развитие деструктивных процессов.

Исследование влияния исходной концентрации сахарозы в среде на развитие культур показало, что максимальная скорость роста наблюдалась при 15 г/л. Снижение исходной концентрации сахарозы приводило к сокращению пулов большого числа сахаров, стимуляции накопления интермедиатов ЦТК, стериннов и жирных кислот.

Добавление в среду интермедиатов ЦТК и гликолиза влияло на рост культур. Интермедиаты ЦТК подавляли рост культур и стимулировали защелачивание среды. Небольшой рост числа клеток был отмечен в случае добавления пирувата. Карбоксилаты вызывали метаболические изменения, сходные со стрессовыми, обнаруженными в конце развития культур: в клетках накапливались пируват и интермедиаты ЦТК, стеринны и жирные кислоты. При этом происходило падение содержания широкого спектра сахаров.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 23-24-00393.

METABOLIC CHANGES DURING THE DEVELOPMENT OF TOBACCO CELL SUSPENSION CULTURES UNDER DIFFERENT TROPHIC CONDITIONS**Puzanskiy R.K.¹, Kirpichnikova A.A.², Bogdanova E.M.^{1,2},
Shavarda A.L.^{1,2}, Shishova M.F.²**¹Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia²St. Petersburg State University, St. Petersburg 199034, Russia**Key words:** *Nicotiana tabacum*, ВУ-2, metabolomics, suspension cell culture

**РЕДОКС-СОСТОЯНИЕ ПЕРЕНОСЧИКОВ ЭЛЕКТРОНОВ В ПРОРОСТКАХ
HORDEUM VULGARE ПРИ СОВМЕСТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ *FUSARIUM CULMORUM*
И ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ****Пшибытко Н.Л. *, Вачинская А.В., Русакович А.А., Демидчик В.В.**

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

*E-mail: pshybytko@bsu.by

Ключевые слова: фотосистема 2, P700, ферредоксин, пластохинон, *Fusarium culmorum*, тепловой шок

Деятельность человека вызывает глобальные изменения климата, включая значительное увеличение количества и интенсивности различных стрессовых факторов. При адаптации растений к воздействию комбинированных стрессовых факторов наряду с неспецифическими могут возникать уникальные ответные реакции. Абиотические стрессоры могут изменять взаимодействие растений и вредителей, повышать восприимчивость растения-хозяина к патогенным организмам. С другой стороны, абиотические стрессовые факторы могут влиять на появление и распространение патогенов. Очевидно, что только систематические исследования имеют решающее значение для понимания механизмов совместного действия абиотических и биотических стрессовых факторов на продуктивность растений.

В представленной работе исследовано влияние повышенной температуры (40° С в течение 3 ч ежедневно на протяжении четырех суток), заражения *Fusarium culmorum* и их совместного действия на фотохимическую активность фотосистемы 2 (ФС2) и ФС1, редокс-состояние пластохинонов, ферредоксина и пластоцианина. Обнаружено, что воздействие повышенной температуры (40°С 3 ч) снижало уровень восстановленных пластохиноновых молекул, уменьшало размер фотоактивного и увеличивало нефотоактивный пул пластохинонов в 7-дневных проростках *Hordeum vulgare* L. Тепловая обработка вызывала накопление восстановленного ферредоксина и активизацию альтернативных потоков электронов от ферредоксина с участием пластохинонов. Вызванное нагреванием снижение циклического и линейного потока электронов компенсировалось активацией транспорта электронов, катализируемого НАДН дегидрогеназа-подобным комплексом (NDH). Повышенная температура значительно ускоряла развитие мицелия и спороношение *Fusarium culmorum* в условиях *in vitro* и *in vivo*. Совместное воздействие повышенной температуры (40°С 3 ч) и заражение *Fusarium culmorum* ускоряло развитие трахеомикозного увядания у проростков *Hordeum vulgare*, а также подавляло фотосинтетическую активность. В этом случае наблюдалось снижение скорости ассимиляции CO₂, падении эффективного квантового выхода фотохимических реакций ФС2, подавлении нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла за счет его светоиндуцированного компонента и повышении нерегулируемого нефотохимического тушения. Данные процессы сопровождалось подавлением фотоиндуцированного окисления P700, активацией нефотохимической диссипации энергии как на акцепторной, так и на донорной стороне ФС1. В то же время, индуцированное трахеомикозным увяданием и повышенной температурой подавление линейного и FQR-зависимого циклического потока электронов компенсировалось активацией NDH-зависимого транспорта электронов.

**REDOX STATE OF ELECTRON CARRIERS IN *HORDEUM VULGARE* SEEDLINGS
UNDER COMBINED INFLUENCE OF ELEVATED TEMPERATURE AND *FUSARIUM
CULMORUM* INFECTION****Pshybytko N.L., Vachinskaya A.V., Rusakovich A.A., Demidchik V.V.**

Belarusian State University, Minsk, Belarus

Key words: photosystem II, P700, ferredoxin, plastoquinone, *Fusarium culmorum*, heat stress

ВЛИЯНИЕ ЭКЗОГЕННОЙ ПРЕДОБРАБОТКИ МЕТИЛЖАСМОНОТОМ НА НЕКОТОРЫЕ ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ КАДМИЯ

Репкина Н.С. *, Казнина Н.М., Воронин В.П., Мурзина С.А.

Институт биологии – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Россия

*E-mail: nrt9@ya.ru

Ключевые слова: пшеница, жирные кислоты, кадмий, метилжасмонат

Жасмоновая кислота и ее производные, в частности, метилжасмонат (МЖ), как и другие фитогормоны, играют важную роль в процессах роста, развития и сигналинге. Известно, что предобработка МЖ оказывает протекторное действие на растения в условиях действия биотических и абиотических факторов. Однако о роли жасмонатов в металлоустойчивости растений имеются лишь фрагментарные сведения. Учитывая это, целью данной работы явилось исследование влияния экзогенной предобработки МЖ на некоторые физиолого-биохимические показатели проростков пшеницы в условиях присутствия кадмия (100 мкМ) в корнеобитаемой среде.

В ходе работы показано, что экзогенная предобработка МЖ (1 мкМ) приводила к меньшему накоплению ионов кадмия как в корнях, так и листьях проростков пшеницы. Тем не менее, стимулирующего действия МЖ на линейные параметры роста в условиях кадмиевого стресса не обнаружено, но увеличивалось накопление биомассы проростков (по сравнению с необработанными растениями). Кроме того, у обработанных МЖ проростков в условиях избытка кадмия в меньшей степени, чем у необработанных, ингибировалась скорость фотосинтеза, чего не происходило в оптимальных условиях роста. Анализ содержания жирных кислот (ЖК) показал, что предобработка МЖ приводит к снижению общего содержания ЖК, кроме того, у обработанных растений при оптимальных условиях и необработанных растений при действии кадмия отмечено повышение пальмитиновой, линоленовой, линолевой и стеариновой кислот. Более того, предобработка МЖ и действие кадмия, как отдельно, так и совместно приводили к качественным изменениям – отсутствию миристиновой ЖК. В целом предобработка МЖ и действие кадмия приводят к накоплению насыщенных жирных кислот, что вероятно способствует образованию рафтов и снижает проницаемость мембран. Это может быть одним из механизмов адаптации растений к действию тяжелых металлов. Протекторное действие предобработки МЖ в условиях действия кадмия, по сравнению с необработанными растениями, вероятно, является опосредованным и связано с меньшим поступлением ионов металла в растения.

Работа выполнена в рамках государственного задания FMEN-2022-0004 и FMEN-2022-0006.

EFFECT OF EXOGENOUS METHYL JASMONATE APPLICATION ON SOME BIOPHYSIOCHEMICAL PARAMETERS OF WHEAT SEEDLINGS UNDER CADMIUM

Repkina N.S., Kaznina N.M., Voronen V.P., Murzina S.A.

Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia

Key words: wheat, fatty acids, cadmium, methyl jasmonate

**ВЛИЯНИЕ ЗАСУХИ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПОДСОЛНЕЧНИКА,
ВЫРАЩИВАЕМОГО В СТЕПНЫХ АГРОЦЕНОЗАХ ДОНБАССА****Решетняк Н.В.¹, Тимошин Н.Н.¹, Косонова Т.М.^{2*}, Мазалов О.В.¹, Попытченко Л.М.¹**¹Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова, Луганск, Россия²Луганский государственный педагогический университет, Луганск, Россия*E-mail: inbotanlit87@list.ru**Ключевые слова:** подсолнечник, засуха, рост, развитие, анатомическое строение стебля, стимулятор роста «Нива», агропочвенная провинция

Земельный фонд Донбасса располагается в 3-х агропочвенных провинциях (Л.И. Акентьева, 1989), различающихся климатическими, геоморфологическими условиями и структурой почвенного покрова. Так, вторая провинция (в которой расположен район исследования) включает Задонецкую Северную степь, Восточное Высокое Задонцовье и Придонцовье. Среднегодовое количество осадков 450–500 мм, вегетационный период равен 150–170 дням, ГТК = 0,8–0,9. В Луганске самая большая сумма ФАР наблюдается в июне – 354 МДж/м². Годовая амплитуда температуры воздуха 26–28°C, абсолютный минимум температуры – -37–40°C, абсолютный максимум – +37–+40°C. Большинство осадков выпадает за теплый период в виде проливных дождей. На фоне высокой температуры воздуха эта влага быстро улетучивается и очень часто для растений складываются засушливые условия почвы и в воздухе. Почвенный покров – чернозем обыкновенный на лессовых породах. Изучали влияние сроков сева гибрида *Helianthus annuus* «Командр 777» (среднеранняя группа спелости) (2 декада апреля, 1–2 декада мая, 1 декада июня), обработки листьев регулятором роста «Нива» (Решетняк с соавт.) на S листьев, высоту, диаметр стебля, анатомическое строение стебля в фазу цветения, как способность адаптации культуры к атмосферной и почвенной засухе. Регулятор роста «Нива» применяли трижды – предпосевная обработка семян; листовая обработка в фазу активного роста и перед цветением. Биологическая особенность подсолнечника – послойное поглощение воды из разных горизонтов почвы. Запас продуктивной влаги в 2023 году в метровом слое почвы в период цветения в посевах раннего срока сева – составлял 117 мм, при оптимальном сроке – 103 мм, при позднем сроке – 109 мм. В июле 2024 года специалистами Луганской метеостанции зафиксирована атмосферная (характеризуется низкой относительной влажностью воздуха) и почвенная засуха (отсутствием доступной для растений воды в почве) в агроценозах опытного поля ЛГАУ, что негативно сказывается на анатомо-мофологических особенностях растений степных агроценозов.

**THE IMPACT OF DROUGHT ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF
SUNFLOWER GROWN IN THE STEPPE AGROCENOSSES OF DONBASS****Reshetnyak N.V.¹, Timoshin N.N.¹, Kosogova T.M.², Mazalov O.V.¹, Polychenko L.M.¹**¹Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk, Russia²Lugansk State Pedagogical University, Lugansk, Russia**Key words:** sunflower, drought, growth, development, anatomical structure of the stem, growth stimulator "Niva", agro-soil province

РАЗНООБРАЗИЕ ВИРУСОВ КАРТОФЕЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ МОСКОВСКОЙ И АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ РОССИИ

Самарская В.О.^{1*}, Спеченкова Н.А.¹, Калинина Н.О.^{1,2}, Тальянский М.Э.¹

¹ФГБУН ГНЦ Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

²НИИ ФХБ имени А.Н. Белозерского МГУ, Москва, Россия

*E-mail: viktoriya.samarskaya2012@yandex.ru

Ключевые слова: вирусы картофеля, *Solanum tuberosum*, климатические зоны

Климатические изменения могут влиять на распространение вирусов растений и на способность растительных культур справляться с инфекциями. Высокая заболеваемость картофеля различными видами вирусов, бактерий, оомицетов и грибов серьезно снижает урожайность этой культуры и приводит к значительным экономическим потерям из-за отбраковки семенного материала и увеличения убытков при хранении. В последние годы отмечается увеличение вирусных заболеваний картофеля, что связывается с изменениями климата, популяций патогенов, сменой выращиваемых сортов картофеля и другими факторами, способствующими активному поражению растений патогенами.

В данной работе мы регистрировали заражение картофеля вирусами, проводя метагеномный анализ вирусных популяций картофеля, выращенного в контрастных по климату зонах РФ – Астраханской и Московской областях. Коммерческие безвирусные сорта картофеля ЛаСтрада и Индиго выращивали в естественных условиях (в поле) в отсутствие химических обработок против насекомых. Мы проанализировали библиотеки РНК-сек образцов РНК, выделенных из листьев и ростков клубней, собранных в течение сезонов 2021 и 2023 гг., и собрали вирусные геномы *de novo*. Определение идентичности последовательностей и филогенетический анализ показали, что в 2021 году картофель, собранный на полях Астраханской области, был заражен Y вирусом картофеля (PVY), причем разнообразие штаммов было значительно выше в этой области с более теплым климатом, чем в Московской области. В Московской области была обнаружена смешанная инфекция PVY/PVM (M вирус картофеля). Анализ контигов образцов, собранных в 2023 году, выявил во всех образцах картофеля смешанную инфекцию: PVY/PVM в Астраханской области и PVY/PVM и PVY/PVM/PLRV/TMV в Московской области.

Исследования в области взаимодействия растений и вирусов в изменяющихся условиях среды имеют важное значение для понимания эволюции вирусов, разработки устойчивых сортов растений и экологических средств защиты, основанных на современных достижениях биотехнологии.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №23-74-30003.

DIVERSITY OF POTATO VIRUSES IN THE MOSCOW AND ASTRAKHAN REGIONS OF RUSSIA

Samarskaya V.O.¹, Spechenkova N.A.², Kalinina N.O.^{1,2}, Taliansky M.E.¹

¹Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Key words: potato viruses, *Solanum tuberosum*, climatic zones

ИЗМЕНЕНИЕ ПРО-/АНТИОКСИДАНТНОГО БАЛАНСА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТАТУСА В ПОЧКАХ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN. В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ

Силина Е.В.*, Маслова С.П., Шелякин М.А., Малышев Р.В., Далькэ И.В.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,
Сыктывкар, Россия

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

Ключевые слова: *Heracleum sosnowskyi*, энергетический баланс, дыхание, антиоксидантные ферменты

Регуляция состояния покоя и отрастания почек возобновления в изменяющихся условиях сезонного климата – залог успеха реализации жизненного цикла развития многолетних растений. Важным регуляторным механизмом поддержания покоя почек возобновления и отрастания побегов является энергетический статус и метаболизм АФК, опосредованные фитогормональным контролем. Интересной моделью для изучения покоя почек возобновления травянистых многолетников являются растения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*), одного из широко распространенных чужеродных видов. Растения формируют на верхушке подземных каудексов терминальные почки возобновления, которые не имеют органического покоя.

В работе исследовали изменения активности про-/антиоксидантного метаболизма и энергетического статуса в почках возобновления *H. sosnowskyi* в годичном цикле развития побега, с сентября по апрель. Установлено, что в осенний период, когда наиболее активны процессы морфогенеза, и весной, перед отрастанием побегов, почки возобновления характеризовались сравнительно высоким энергетическим статусом и повышенной способностью к дыханию по цитохромному пути (ЦП). В период зимнего покоя, уровень запаса энергии и интенсивность ЦП снижались, при этом отмечали активизацию энергетически малоэффективного альтернативного пути дыхания и антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы и гваяколпероксидазы. В результате уровень содержания продуктов перекисного окисления липидов и H_2O_2 в условиях отрицательных температур был сравнительно стабильным. Максимум активности про-/антиоксидантного метаболизма наблюдали в весенний период, при значительном увеличении светового довольствия на уровне почвы по сравнению с зимним покоем. Полученные данные свидетельствуют о важности поддержания энергетического и про-/антиоксидантного баланса на разных стадиях развития почек возобновления *H. sosnowskyi*. Скоординированные изменения на уровне дыхательных путей и про-/антиоксидантного метаболизма в процессе перезимовки растений важны для поддержания баланса между состоянием покоя и формообразовательными процессами в тканях почек возобновления *H. sosnowskyi*.

Работа выполнена в рамках темы НИОКТР ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600021-4.

CHANGES IN PRO-/ANTIOXIDANT BALANCE AND ENERGY STATUS IN BUDS OF *HERACLEUM SOSNOWSKYI* MANDEN. DURING DEVELOPMENT

Silina E.V., Maslova S.P., Shelyakin M.A., Malyshev R.V., Dalke I.V.

Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar, Russia

Keywords: *Heracleum sosnowskyi*, energy balance, respiration, antioxidant enzymes

РОЛЬ МЕЖМЕМБРАННЫХ КОНТАКТОВ В ТРАНСПОРТЕ ВИРУСОВ В РАСТЕНИЯХ

Соловьев А.Г. *, Атабекова А.К., Лезжов А.А., Лазарева Е.А., Морозов С.Ю.

НИИ Физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: solovyev@belozersky.msu.ru

Ключевые слова: вирусы растений, межмембранные контакты, плазмодесмы, транспортные белки, ремоделирование мембран

Транспорт вирусного генома из зараженных клеток растений в здоровые происходит через плазмодесмы (ПД) и требует активного участия кодируемых вирусным геномом транспортных белков (ТБ). Необходимым условием межклеточного транспорта вируса является модификация внутренней структуры каналов ПД, приводящая к увеличению их пропускной способности. Канал ПД выстлан плазматической мембраной, на его оси находится десмотрубочка, модифицированная трубочка эндоплазматического ретикулума (ЭПР). В каналах ПД ряд клеточных белков, включая синаптотагмины, взаимодействует с ПМ и десмотрубочкой, формируя поперечные сшивки. Такой способ взаимодействия двух мембран с участием данных белков характерен для межмембранных контактов (membrane contact sites, MCS), которые формируются между мембраной ЭПР и мембранами различных органелл.

Вирусные ТБ взаимодействуют с эндомембранной системой клетки. Белок ВМВ2, ТБ вируса зеленой пятнистости гибискуса, является интегральным мембранным белком, который встраивается в мембраны ЭПР, имея W-образную топологию, образует мультимерные комплексы и вызывает образование дополнительной кривизны мембраны, что приводит к локальным сужениям (констрикциям) трубочек ЭПР. Эти свойства делают белок ВМВ2 сходным с ретикулонами, белками, создающими кривизну липидного бислоя и необходимыми для формирования трубочек кортикального ЭПР. Помимо этого, белок ВМВ2 вызывает увеличение пропускной способности каналов ПД, вероятно в силу обнаруженного сродства белка ВМВ2 к мембранам с высокой кривизной, таким, как десмотрубочка. Предполагается, что ВМВ2 способен менять структуру MCS в каналах ПД. Помимо этого, экспрессия белка ВМВ2 приводит к образованию мембранных телец, которые являются производными ЭПР и расположены рядом с ПД. С помощью электронной томографии обнаружено, что мембранные структуры в составе таких телец в основном представляют собой цистерны, соединенные многочисленными межмембранными контактами. Таким образом, белок ВМВ2 способен модифицировать имеющиеся межмембранные контакты в каналах ПД и индуцировать образование новых межмембранных контактов при образовании мембранных телец. Функциональное значение обнаруженных свойств белка ВМВ2 будет рассмотрено в контексте современных моделей действия вирусных ТБ.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант № 22-14-00063).

ROLE OF INTERMEMBRANE CONTACTS IN PLANT VIRUS CELL-TO-CELL TRANSPORT

Solovyev A.G., Atabekova A.K., Lezhov A.A., Lazareva E.A., Morozov S.Y.

A. N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology,
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Key words: endomembranes, membrane contact sites, movement proteins, plant virus, plasmodesmata

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ ЛИСТОВЫХ МУТАНТОВ ГОРОХА**Соболева Г.В., Соболев А.Н.***

ФГБНУ «ФНЦ зернобобовых и крупяных культур», Орел, Россия

ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», Орел, Россия

E-mail: alniksobolev@rambler.ru*Ключевые слова:** горох, засухоустойчивость, морфотип, осмоустойчивость

Благодаря классической селекции достигнуты значительные генетические и морфологические преобразования растений гороха, позволившие решить проблему технологичности культуры и высокой потенциальной урожайности. Для дальнейшего прогресса в селекции гороха предлагается повысить биоэнергетический потенциал растений. Перспективным материалом для этого направления селекции являются формы с измененной архитектоникой листового аппарата. Системная селекционная работа с данными морфотипами предполагает и их оценку устойчивости к водному дефициту, в связи с резко участвовавшими засухами в основных зернопроизводящих регионах.

Цель исследований – сравнительная оценка по показателям засухоустойчивости морфотипов гороха с нетрадиционным по архитектонике листовым аппаратом: линии с многократно непарноперистым листом, ярусной гетерофиллией (хамелеон), рассеченнолисточковые. Контроль – сорта Фараон (усатый морфотип) и Темп (листочковый морфотип).

Уровень устойчивости на ранних этапах развития (всхожесть семян в растворах с 15% ПЭГ в % к контролю) в опыте был в пределах 85-100%. Различия морфотипов по реакции на осмотический стресс наиболее четко проявились по такому показателю как индекс длины корня (ИДК) – отношение длины зародышевого корешка при прорастании в условиях осмотически активного раствора в % к контролю. Высоким уровнем ИДК характеризовались линии с многократно непарноперистым типом листа, у которых значение данного показателя в среднем составило 72,2%, превысив контроль на 17,3% (сорт Темп) и 9,2% (сорт Фараон). У линий рассеченнолисточковой формы ИДК составил 62,5% и 59,4% у морфотипа хамелеон.

Среди механизмов адаптации растений к засухе важная роль отводится водоудерживающей способности. Установлено, что все линии с измененной архитектоникой листа характеризовались статистически достоверно более высокой водоудерживающей способностью. Минимальные потери воды (25,8%) при завядании (6 часов) продемонстрировали линии с многократно непарноперистым типом листа, что свидетельствует о высокой водоудерживающей способности растений. Максимальные потери воды (33,4%) растениями в опыте отмечены у усатого сорта Фараон.

Таким образом, в результате сравнительного анализа выявлено преимущество линий гороха с многократно непарноперистым типом листа по ряду показателей, характеризующих относительную засухоустойчивость.

RELATIVE DROUGHT TOLERANCE OF PEA LEAF MUTANTS**Soboleva G.V., Sobolev A.N.**

FSBSI “Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops”, Orel, Russia

FSBEI HE “I.S. Turgenev Orel State University”, Orel, Russia

Key words: pea, drought tolerance, morphotype, osmotolerance

АНАЛИЗ РЕГУЛЯТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ мРНК РАСТЕНИЙ, ОТВЕТСТВЕННЫХ ЗА МОДУЛЯЦИЮ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХОЛОДОВОГО СТРЕССА (НА МОДЕЛИ ТОМАТА)**Соболев Д.С.* , Голденкова-Павлова И.В., Тюрин А.А.**

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

E-mail: denissoboleww@gmail.com*Ключевые слова:** регуляторные элементы, трансляция, холодовой стресс

Изучение комплексной взаимосвязи экспрессии на этапах трансляции и транскрипции является фундаментальной задачей при исследовании дифференциальной экспрессии генов у растений. Регуляторные коды, обеспечивающие стабильную трансляцию мРНК играют ключевую роль в модуляции экспрессии целевых генов при изменении условий окружающей среды.

Наше исследование направлено на поиск характерных регуляторных элементов и паттернов, ответственных за модуляцию экспрессии генов на этапе трансляции у растений при воздействии холодого стресса. В ходе эксперимента использовались группы сравнения растений, подвергнутые воздействию различных экспериментальных условий, а именно: контрольные растения; растения, экспонировавшиеся при кратковременном воздействии отрицательных температур (0°C, 2 часа); закалённые растения (в течение недели при температуре +4°C); а также закалённые экспериментальные растения, подвергнутые воздействию стрессовых условий. В качестве входных данных были использованы результаты секвенирования на платформах Illumina и Oxford Nanopore.

Основной блок экспериментов, основанный на результатах картирования и аннотации секвенирования общего транскриптома, направлен на целенаправленный поиск и анализ регуляторных элементов и паттернов, потенциально вовлеченных в регуляцию экспрессии генов. В ходе исследования предсказаны вторичные структуры для всех аннотированных мРНК в конкретных экспериментальных условиях. В результате обнаружены потенциальные сайты внутренней посадки рибосом; последовательности, потенциально кодирующие G-квадруплексы; открытые рамки считывания.

Для всех исследованных регуляторных элементов было проведено их картирование на группы сравнения (SO-enrichment), т.е. прослежена их ассоциация с теми или иными экспериментальными условиями.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-74-10064***ANALYSIS OF REGULATORY ELEMENTS OF PLANT mRNA RESPONSIBLE FOR MODULATING GENE EXPRESSION UNDER THE INFLUENCE OF COLD STRESS (USING TOMATO MODELS)****Sobolev D.S., Goldenkova-Pavlova I.V., Tyurin A.A.**

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Key words: cold stress, regulatory elements, translation

РОЛЬ ПОЛИ(АДФ-РИБОЗИЛ)ИРОВАНИЯ В ОТВЕТЕ РАСТЕНИЙ НА АБИОТИЧЕСКИЙ СТРЕСС

Спеченкова Н.А.* , Багдасарова П.Е., Калинина Н.О., Тальянский М.Э.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный Научный Центр Российской Федерации Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук (ИБХ РАН), Москва, Россия

*E-mail: solanum2024@gmail.com

Ключевые слова: *Nicotiana benthamiana*, метилвиологен, окислительный стресс, поли(АДФ-рибозил)ирование, поли(АДФ-рибоза)полимераза 1

Поли(АДФ-рибозил)ирование (парилирование, ADPRylation) представляет собой универсальную систему посттрансляционной модификации белков в эукариотических клетках, которая участвует в регуляции широкого спектра биологических процессов, включая репарацию ДНК, запрограммированную гибель клеток, передачу сигналов клеток и ответы на биотические и абиотические стрессы. Ферменты поли(АДФ-рибоза)полимеразы (PARP) играют ключевую роль в процессе АДФ-рибозилирования, при котором целевые белки модифицируются путем присоединения молекул АДФ-рибозы. В данном исследовании мы обнаружили, что белок PARP1 и парилирование могут участвовать в регуляции ответа растений *Nicotiana benthamiana* на окислительный стресс, вызванный метилвиологеном (МВ).

Показано, что процесс генерации активных форм кислорода (АФК), потеря жизнеспособности и гибель клеток, индуцированные обработкой МВ в листьях *N. benthamiana*, значительно замедлялись при ингибировании экспрессии гена *PARP1* с помощью вирус-индуцированного сайленсинга или при использовании фармакологического ингибитора PARP1 – 3-аминобензамида (ЗАВ).

Показано, что в клетках растений, обработанных МВ в условиях дефицита активности PARP1, наблюдалось снижение уровня накопления парилированных белков и значительное увеличение экспрессии генов основных антиоксидантных ферментов, включая каталазу (NbCAT2), супероксиддисмутазу (NbMnSOD, mitochondrial manganese SOD), аскорбатпероксидазу (NbAPX5) и глутатионредуктазу (NbGR).

Таким образом, нарушение процесса поли(АДФ-рибозил)ирования (уровня или активности PARP1) повышает устойчивость растений к окислительному стрессу, вызванному МВ, предположительно за счет индукции экспрессии антиоксидантных ферментов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-14-00049.

ROLE OF POLY(ADP-RIBOSYLATION) IN PLANT RESPONSE TO ABIOTIC STRESS

Spechenkova N.A., Kalinina N.O., Taliansky M.E.

Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: *Nicotiana benthamiana*, methyl viologen, oxidative stress, poly(ADP-ribosyl)ation, poly(ADP-ribose) polymerase 1

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ГЕНОМНОЙ ДНК В ПРОРОСТКАХ ЯЧМЕНЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙТРАЛЬНОЙ И ЩЕЛОЧНОЙ ВЕРСИИ COMET ASSAY

Стриженок А.Д.^{1,2*}, Тютерева Е.В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: Strileha03@mail.ru

Ключевые слова: стресс, фрагментация ДНК, метод ДНК-комет

В природе растения сталкиваются со множеством неблагоприятных факторов, приводящих к развитию стресса. Реакции ответа растительных клеток на стресс могут сопровождаться изменениями в структуре и составе макромолекул, в том числе носителей генетической информации – ДНК. Ранее было показано, что нарушение структуры и межнуклеосомная фрагментация ДНК является одним из маркеров запуска программируемой клеточной гибели.

Метод ДНК-комет (Comet Assay), или метод гель-электрофореза нуклеоидов индивидуальных клеток (Single-Cell Gel Electrophoresis Assay, SCGE) – относительно быстрый и недорогой метод, позволяющий определить степень повреждения геномной ДНК; его широко используют в экотоксикологии и биомониторинге, однако, несмотря на наличие различных модификаций метода для разнообразных растительных объектов, комет тест относительно редко применяют в физиологических исследованиях.

Метод ДНК-комет включает несколько этапов: (1) экстракция ядер, (2) их фиксация в агарозном гель-слайде, (3) лизис ядер, (4) электрофорез ДНК, (5) окраска ДНК и микроскопирование. Для оценки повреждения ДНК чаще всего используют две основные версии метода, нейтральную (N/N) и щелочную (A/A), которые различаются по pH применяемых лизирующих и электрофоретических буферов. С помощью нейтральной версии комет-теста можно выявить двунитевые разрывы в геномной ДНК. Щелочная версия позволяет определить сразу несколько типов повреждений (щелочеллабильные сайты, одно- и двунитевидные разрывы), в связи с чем ее чаще используют для выявления повреждений в структуре ДНК при действии различных стрессоров. Совместное применение обеих версий метода показывает долю одностранных разрывов в общем пуле разрывов ДНК.

Цель работы состояла в отработке метода оценки степени повреждения геномной ДНК в листьях лука и проростках ячменя с использованием нейтральной (N/N) и щелочной (A/A) версии метода ДНК-комет. В качестве генотоксичных стрессоров использовали тепловой шок (55°C, 1 ч) и антибиотик зеоцин (100 мкг/мл, 2–3 ч).

В докладе будут представлены полученные результаты, описаны особенности выполнения метода на листьях лука и проростках ячменя, обсуждены перспективы применения метода ДНК-комет в исследованиях механизмов стрессоустойчивости растений.

THE DETECTION OF DNA DAMAGE IN BARLEY SEEDLINGS USING THE NEUTRAL AND ALKALINE VERSION OF THE COMET ASSAY

Strizhenok A.D.^{1,2}, Tyutereva E.V.¹

¹Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State University”, Saint Petersburg, Russia

Key words: stress, DNA fragmentation, comet assay

ВЗАИМОСВЯЗЬ АПОПЛАСТНОГО И ТРАНСКЛЕТОЧНОГО ПУТЕЙ РАДИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ВОДЫ В КОРНЯХ РАСТЕНИЙ

Суслов М.А. *, Ахтямова Г.А., Анисимов А.В.

Казанский институт биохимии и биофизики, Федеральный исследовательский центр Казанский научный центр Российской академии наук, Казань, Россия

*E-mail: makscom87@mail.ru

Ключевые слова: транспорт воды в корнях, апопластный путь, трансклеточный путь, спин-эхо ЯМР, аквапорины

Согласно композитной модели транспорта воды существует три параллельных пути радиального водного переноса в корнях растений: апопластный, симпластный и трансмембранный. Последние два пути водного переноса часто объединяют в один путь – трансклеточный, или путь из клетки в клетку. Известно, что система транспорта воды в корнях растений реагирует на стрессовые воздействия перераспределением вкладов данных путей в суммарный водный перенос. При этом апопластный и трансклеточный пути транспорта воды часто исследуются как независимые друг от друга, и вопрос о взаимосвязи и взаимовлиянии потоков воды по данным путям мало изучен. В связи с этим, в данной работе с помощью метода спин-эхо ЯМР была исследована динамика радиального транспорта воды по трансклеточному пути и диффузионная проницаемость мембран в корнях интактных растений кукурузы при частичном блокировании апопластного пути водного переноса. Частичное блокирование апопласта производили с помощью мельчайших частиц, образующихся в ходе реакции растворов гексацианоферрата (II) калия и сульфата меди (II). Контроль блокирования апопластного транспорта воды производили с помощью микроскопии с использованием флуоресцентных парамагнитных наночастиц. Было показано, что в течение первых 40–50 минут после блокирования апопласта корня происходит значительное снижение интенсивности водного переноса по трансклеточному пути. Ингибиторный анализ и анализ экспрессии генов показали, что аквапорины вносят значительный вклад в этот процесс. Было обнаружено, что после первоначального снижения интенсивность трансклеточного переноса воды быстро восстанавливается до исходных значений и выше. Таким образом, предполагается, что скорость апопластного течения воды может являться фактором, модулирующим интенсивность транспорта воды по трансклеточному пути в корнях растений.

Работа поддержана грантом № 22-74-10087 Российского научного фонда (<https://rscf.ru/en/project/22-74-10087/>).

RELATIONSHIP BETWEEN APOPLASTIC AND TRANSCELLULAR PATHWAYS OF RADIAL WATER TRANSPORT IN PLANT ROOTS

Suslov M.A., Ahtyamova G.A., Anisimov A.V.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Key words: water transport in roots, apoplastic pathway, transcellular pathway, spin-echo NMR, aquaporins

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ТРАНСКРИПЦИОННАЯ И ТРАНСЛЯЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ ГЕНОВ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДОВОГО СТРЕССА**Сухорукова А.В.* , Тюрин А.А., Голденкова-Павлова И.В.**

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

E-mail: sualsha@yandex.ru*Ключевые слова:** транскрипция, трансляция, холодовой стресс

В естественных условиях произрастания растения периодически подвергаются действию неблагоприятных факторов окружающей среды. Низкая температура относится к числу наиболее распространенных стресс-факторов, оказывающих повреждающее воздействие на растительный организм. Данная работа направлена на изучение дифференциальной трансляционной активности генов растения в условиях низких температур, с использованием современных высокопроизводительных методов, а также методов *in silico* анализа и технологии транзientной экспрессии генов в растениях. В качестве модельного организма выбран томат – важная сельскохозяйственная культура, адаптация которой к низким температурам также является актуальной задачей. На основании результатов картирования и аннотации результатов секвенирования общего транскриптома была установлена трансляционная эффективность для всех идентифицированных транскриптов, экспрессирующихся как в условиях низкотемпературного стресса (закаливание и краткосрочное действие низких положительных температур), так и при нормальных условиях жизнедеятельности растений томатов, и определен список трансляционно активных транскриптов. Параллельно с анализом данных, полученных секвенированием РНК на платформе Illumina, был проанализирован массив длинных прочтений, полученный при помощи нанопорового секвенирования. Эта информация использована для аннотации новых транскриптов и уточнения изоформного состава экспериментальных образцов. Данные классификации прочтений на набор из всех известных транскриптов томата легли в основу непосредственного определения трансляционного статуса конкретных мРНК – определения степени вовлечённости мРНК в процесс трансляции. Наряду с этим мы стремились исключить транскрипционные эффекты, и для этого провели дополнительное сравнение количественных данных секвенирования между образцами, соответствующим одному этапу транскрипции, но – разным экспериментальным условиям. Для визуализации различий между пулами дифференциально экспрессирующихся генов использовали графики типа UpSet (как более гибкую альтернативу диаграммам Венна).

*Работа поддержана Грантом РФФ № 22-74-10064.***DIFFERENTIAL TRANSCRIPTIONAL AND TRANSLATIONAL ACTIVITIES OF PLANT GENES UNDER COLD STRESS****Suhorukova A.V., Tyurin A.A., Goldenkova-Pavlova I.V.**

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: transcription, translation, cold stress

КРИОРЕЗИСТЕНТНОСТЬ И АКТИВНОСТЬ ПРО/АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПОЧЕК ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ОЧИТНИКА ТРЕХЛИСТНОГО В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕЗИМОВКИ

Табаленкова Г.Н. *, Малышев Р.В., Силина Е.В.

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия

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

Ключевые слова: почки возобновления, про/антиоксидантная система, фазовый переход вода–лёд

Важнейшим адаптивным признаком, возникшим в эволюции растений, является сезонная ритмичность роста и развития. Особо чувствительными к условиям произрастания являются меристематические ткани почек возобновления, где осуществляются процессы роста, пролиферации и дифференциации клеток и тканей и локализованы многие рецепторные системы, воспринимающие изменения во внешней среде. Физиологические и морфологические особенности почек возобновления позволяют им переносить суровые условия существования. В качестве объекта исследования использовались почки возобновления очитника трехлистного *Hylotelephium trephilum* (Haw.) Holub. многолетнего травянистого растения семейства Crassulaceae DC. Пробы отбирали в конце сентября, начале ноября, декабре, марте и апреле. В сформировавшихся почках (август) оводненность составляла около 85%, доля воды, переходящей в кристаллическое состояние, была более 95%, температура фазового перехода вода-лед – -6°C . По мере снижения среднесуточных температур наблюдалось уменьшение интенсивности дыхания, увеличение скорости запасаения энергии, накопление растворимых углеводов и ненасыщенных жирных кислот, при высокой оводненности тканей и доли свободной воды в них. Доля запасаемой энергии от образованной при дыхании составляла около 60%. Для почек возобновления очитника трехлистного характерно отсутствие в течение осенне-зимнего периода глубокого органического покоя, о чем свидетельствует высокая интенсивность дыхания, оводненность тканей и содержание в них свободной воды. Показана прямая связь между интенсивностью дыхания, тепловыделением и запасанием энергии. Общая оводненность почек возобновления в осенний период составляла около 75%, доля воды переходящей в кристаллическое состояние была более 90%. Температура фазового перехода вода-лед равнялась $-4,7^{\circ}\text{C}$, такая температура льдообразования видимо является предельной минимальной температурой при которой происходят необратимые повреждения клеточных структур. Неблагоприятные воздействия окружающей среды являются основной причиной избыточного образования активных форм кислорода (АФК), которые образуясь в процессе метаболизма, модулируют процессы жизнедеятельности растений и являются компонентами адаптивных реакций. Характер изменения активности SOD, CAT и ТБК-РП с понижением температуры и переходом растений в состояние вынужденного покоя указывает на индуцирование в почках возобновления окислительного стресса. Увеличение содержания H_2O_2 , повышенная активность ключевых ферментов антиоксидантной защиты, накопление белка и ННЖК служили сигналом к активированию формообразовательных процессов в почках весной, а также является одним из важнейших признаков устойчивости растений к возможному понижению температуры.

Работа выполнена в рамках темы № 122040600021-4.

CRYORESISTANCE AND ACTIVITY OF THE PRO/ANTIOXIDANT SYSTEM OF THE *SEDUM TRIFOLIUM* RENEWAL BUDS DURING OVERWINTERING

Tabalenkova G.N., Silina E.V., Malyshev R.V.

Institute of Biology, Komi Science Centre Ural Branch RAS, Syktывkar, Russia

Key words: pro/antioxidant system, renewal buds, water–ice phase transition

АДАПТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЕГИДРИНОВ ХВОЙНЫХ РАСТЕНИЙ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

Татарина Т.Д.* , Перк А.А., Васильева И.В., Пономарев А.Г.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: t.tatarinova@gmail.com

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., дегидрины, криолитозона, низкие температуры, устойчивость

Доминирующая роль хвойных деревьев в лесных ландшафтах Северо-Востока Сибири связана с их высоким уровнем морозоустойчивости. В процессе адаптации растений к экстремально холодному климату Центральной Якутии важная роль в защите клеток от дегидратации отводится стрессовым белкам-дегидринам, экспрессия генов которых индуцируется в ответ на воздействие факторов различной природы. В связи с вероятным участием дегидринов в устойчивости древесных растений к низким зимним температурам (до -60°C), характерным для криолитозоны, нами изучены особенности их сезонных изменений в течение трех годовых циклов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей в природных условиях Якутии. Климатические показатели (среднемесячные температуры воздуха и почвы, количество осадков, гидротермический режим) во время исследования были близки к многолетним, с небольшими колебаниями от средних значений в регионе.

С использованием специфических антител против К-сегмента (*Agrisera*, Sweden) в хвое сосны обыкновенной идентифицированы две группы дегидринов. Анализ накопления дегидринов в хвое сосны на основе мониторинга ежемесячных наблюдений показал, что в разные периоды года изменения их состава и содержания характеризовались определенными особенностями. Дегидрины с мол. м. 66 кД обнаруживали круглогодично, хотя их содержание заметно уменьшалось в летние месяцы. Самый высокий уровень 14 и 15 кД дегидринов, предположительно, связанных с морозоустойчивостью *P. sylvestris*, наблюдали зимой (ноябрь-февраль), однако весной к маю их количество снижалось, и они полностью исчезали в начале вегетации. Следующий подъем уровня этих белков начинался осенью при переходе сосны к состоянию покоя (август-сентябрь). Содержание в хвое всех дегидринов, и особенно 15 кД, резко возрастало и сохранялось на относительно высоком уровне в зимний, с низкими отрицательными температурами, период покоя. Наряду с этим, в одни и те же месяцы наблюдений, в зависимости от конкретных погодных факторов, проявлялись небольшие количественные различия в их содержании. Выявленные адаптивные особенности сезонных изменений дегидринов в хвое *P. sylvestris*, связанные с защитой клеток от обезвоживания, указывают на их участие в адаптации хвойных растений к природно-климатическим условиям криолитозоны Якутии.

ADAPTIVE FEATURES OF SEASONAL CHANGES IN DEHYDRINES OF CONIFEROUS PLANTS IN NATURAL CLIMATIC CONDITIONS OF YAKUTIA

Tatarinova T.D., Perk A.A., Vasileva I.V., Ponomarev A.G.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Key words: *Pinus sylvestris* L., cryolithozone, dehydrins, low temperatures, resistance

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ДЕФИЦИТА КАЛИЯ НА ПРОЦЕССЫ АВТОФАГИИ И ПРОГРАММИРОВАННОЙ КЛЕТОЧНОЙ ГИБЕЛИ В КЛЕТКАХ КОРНЯ *ARABIDOPSIS THALIANA*

Тютерева Е.В. *, Муртузова А.В., Войцеховская О.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук,
Санкт-Петербург, Россия
*E-mail: ETutereva@binran.ru

Ключевые слова: калий, стресс, *Arabidopsis thaliana*, электрохимический градиент

Калий – важнейший макроэлемент и осмотик растительной клетки – играет роль в биоэнергетике клетки, поскольку электрохимические градиенты на клеточных мембранах поддерживаются трансмембранными потоками ионов калия и протонов. Таким образом, гомеостаз калия влияет как на синтез АТФ в хлоропластах и митохондриях, так и на гидролиз АТФ при закислении апопласта, вакуоли и других кислых клеточных компартментов.

В работе исследовали влияние хронического дефицита калия в среде выращивания *Arabidopsis thaliana* на индукцию автофагии и запуск программированной клеточной гибели в клетках корня. Особое внимание уделяли изменениям рН апопласта и вакуоли, а также электрохимического потенциала на митохондриальной мембране.

Голодание по калию снижало содержание калия в проростках в два раза по сравнению с контролем. В клетках коры корня 14-дневных проростков арабидопсиса наблюдали индукцию автофагии и накопление автофагосом. Однако, автофагическая деградация компонентов клетки останавливалась на стадии литического разрушения карго в вакуоли, что приводило к накоплению крупных агрегатов, предположительно состоящих из автофагических телец. Одновременно и в вакуоли, и в апопласте наблюдали рост рН. Несмотря на то, что острая потеря калия клетками активирует процессы клеточной гибели, в клетках корня голодающих по калию проростков не наблюдали запуски процессов программированной клеточной гибели, вероятно, из-за ингибирования активности соответствующих протеаз высоким рН. Таким образом, остановка лизиса карго в вакуоли, как и отсутствие запуска программы клеточной гибели, по-видимому обусловлены недостаточным закислением вакуоли. Ингибирование роста клеток корня при дефиците калия сопровождалось защелачиванием апопласта. Полученные данные позволяют предположить, что дефицит калия ингибирует работу не только H^+ -АТФаз плазмалеммы, но и тонопласта. В то же время, электрохимический потенциал на митохондриальной мембране поддерживался на том же уровне, что и в контрольных, обеспеченных калием, клетках.

Таким образом, в отличие от острой потери калия клетками при ряде стрессовых воздействий, хронический дефицит калия не приводит к запуску клеточной гибели, что может рассматриваться как адаптация для «пережидания» неблагоприятных условий.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ №18-16-00074.

THE EFFECT OF CHRONIC POTASSIUM DEFICIENCY ON AUTOPHAGY AND PROGRAMMED CELL DEATH IN *ARABIDOPSIS THALIANA* ROOT CELLS

Tyutereva E.V., Murtuzova A.V., Voitsekhovskaja O.V.

Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Key words: potassium, stress, *Arabidopsis thaliana*, electrochemical gradient

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ЗАСУХИ – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Фролов А.А.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия
E-mail: afrolov0375@yandex.ru

Ключевые слова: засуха, засухоустойчивость, модели засухи, полиэтиленгликоль (ПЭГ), физиологический и биохимический скрининг

В свете продолжающегося изменения климата засуха становится одним из ведущих факторов влекущих к масштабным потерям урожая по всему миру. В первую очередь, эта проблема затрагивает наиболее широко возделываемые зерновые и зернобобовые культуры, которые также являются основным источником недорогих продуктов питания, в том числе для наиболее малообеспеченных слоев населения. В этой связи, обеспечение стабильного и устойчивого развития земледелия в аридных областях планеты является ключевой задачей сегодняшней сельскохозяйственной науки. Очевидно, что для этого необходимо создание новых засухоустойчивых сортов, широкое возделывание которых позволит решить эту проблему. Однако, для успешного решения этой задачи необходимо глубокое понимание механизмов, лежащих в основе устойчивости растений к действию засухи. В свою очередь, для успешной экспериментальной работы, нацеленной на выявление этих молекулярных механизмов, необходимы простые, надежные и хорошо воспроизводимые лабораторные модели. В зависимости от конкретных задач, в наиболее простом варианте, могут быть использованы модели осмотического стресса на основе жидких или твердых (например, агаровых) сред. Не смотря на ограниченную физиологическую адекватность этих моделей, они удобны в силу своей высокой воспроизводимости и надежности. С другой стороны, модели, основанные на выращивании на твердых субстратах (вермикулит и почвы различной степени приближенности к реальным) позволяют более точно воспроизвести реальную физиологическую картину стресса и эффективно оценивать эффекты засухи, возникающие практически на любом этапе. Поэтому, нами была разработана линейка моделей засухи, опирающихся на различные условия выращивания и проведена их полноценная характеристика по широкой панели физиологических и биохимических маркеров. Все эти модели могут использоваться в контексте конкретных фундаментальных и прикладных практических задач.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с договором № 075-15-2022-322 от 22.04.2022 о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета Российской Федерации. Грант был предоставлен на государственную поддержку создания и развития Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего»

EXPERIMENTAL DROUGHT STRESS MODELS - FUNDAMENTAL AND PRACTICAL ASPECTS

Frolov A.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: drought, drought tolerance, drought stress models, polyethylene glycol (PEG), physiological and biochemical screening

УЧАСТИЕ FLOT1, БЕЛКА МЕМБРАННЫХ НАНОДОМЕНОВ, В ОБРАЗОВАНИИ РАНИХ ЭНДОСОМ В КЛЕТКАХ КОРНЕЙ *ARABIDOPSIS THALIANA* В УСЛОВИЯХ СТРЕССА

Халилова Л.А.* , Воронков А.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия

*E-mail: lhalilova@mail.ru

Ключевые слова: везикулярный транспорт, стресс, флотиллин, flg22

Растения в ходе всей своей жизни подвергаются различным стрессовым воздействиям. Плазматическая мембрана – основной компартмент клетки, отвечающий за адаптацию растений к стрессу и способный ремоделировать состав входящих в нее белков посредством эндоцитоза. Основными путями везикулярного транспорта у растений являются клатрин-зависимый и клатрин-независимый пути эндоцитоза и экзоцитоз. Было показано, что в условиях засоления в клетках активируется, клатрин-независимый эндоцитоз, ключевым белком которого является Flot1. Однако, какой из везикулярных путей используют патогены (flg22) для проникновения в ткани и какое значение имеет в этом процессе Flot1, остается не до конца изученным.

На модельной системе корней проростков *A. thaliana* дикого типа (ДТ) и нокаут-мутанта (*Atflot1ko*) была исследована роль Flot1 в процессе эндоцитоза в условиях абиотического (засоление) и биотического (обработка flg22) стрессов. Показано, что одновременная обработка корней проростков ингибитором клатринового эндоцитоза (НУК) и агентом, обедняющим плазмалемму по стеринам (МВЦД), в условиях засоления блокировала эндоцитоз в клетках корней ДТ, при этом сохраняя способность комплекса Гольджи (КГ) образовывать ранние эндосомы (РЭ). Тогда как у мутанта *Atflot1ko* происходило замыкание цистерн КГ в кольцо с полным блокированием процесса формирования РЭ. Биотический стресс у нокаут-мутантов, наоборот, активировал секреторный путь (экзоцитоз), а соответственно и процесс образования РЭ на транс-стороне КГ, необходимый для транспорта защитных белков к поверхности клетки. Тогда как у растений ДТ активировался эндоцитоз, направленный на перемещение патогена в вакуоль.

Таким образом, полученные результаты показали, что абиотический и биотический стресс оказывают антагонистическое действие в ответной реакции клеток корней *A. thaliana* дикого типа и нокаут-мутанта (*Atflot1ko*). Выявлено, что белок Flot1 только в условиях засоления необходим для сохранения структуры комплекса Гольджи и его способности формировать на транс-стороне ранние эндосомы. Учитывая фундаментальную важность секреторных путей для защиты растений от действия стрессовых факторов окружающей среды, необходимо понимать роль различных типов секреторных пузырьков в запуске соответствующих иммунных реакций.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 122042700044-6).

THE PARTICIPATION OF FLOT 1, A PROTEIN OF MEMBRANE NANODOMAINS, IN THE FORMATION OF EARLY ENDOSOMES IN *ARABIDOPSIS THALIANA* ROOT CELLS UNDER STRESS

Khalilova L.A., Voronkov A. S.

Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: flotillin, vesicular transport, stress, flg22

**ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ НА СОВМЕЩНОЕ
ДЕЙСТВИЕ ИЗБЫТКА ЦИНКА И НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ****Холопцева Е.С.*, Батова Ю.В., Казнина Н.М.**

ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

*E-mail: holoitseva@krc.karelia.ru**Ключевые слова:** *Sinapis alba* L., антиоксиданты, рост, температура, фотосинтез, цинк

В контролируемых условиях среды изучали реакцию растений горчицы белой (*Sinapis alba* L.) сорта Радуга на избыток цинка при оптимальной и низкой положительной температуре окружающей среды. Растения выращивали на питательном растворе Хогланда-Арнона с оптимальным (5 мкМ) или избыточным (1000 мкМ) содержанием цинка. В возрасте 14 сут половину растений контрольного и опытного вариантов подвергали воздействию температуры 4°C в течение 7 сут, другую – оставляли при 22°C. По завершению опыта анализировали показатели роста (высота побега, площадь семядольных листьев, сухая биомасса) и фотосинтетического аппарата растений (содержание пигментов, интенсивность фотосинтеза), определяли интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) по содержанию малонового диальдегида (МДА) и активность антиоксидантных ферментов – супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ) и пероксидазы (ПО).

Обнаружено, что избыток цинка независимо от температурных условий оказывает отрицательное влияние на рост побега. В частности, под воздействием 1000 мкМ цинка у растений уменьшались (по сравнению с его оптимальным уровнем) высота побега и площадь листьев, причем в оптимальных температурных условиях и в условиях гипотермии практически в равной мере; в отличие от этого накопление растениями сухой биомассы снижалось у опытных растений в большей степени при 22°C по сравнению с 4°C. Аналогичный эффект наблюдался и в отношении скорости фотосинтеза: ингибирующее действие избытка цинка на этот процесс оказалось гораздо более выраженным при оптимальной температуре, чем при низкой, что было связано со снижением в этом варианте опыта содержания хлорофиллов. При совместном воздействии избытка цинка и низкой температуры количество зеленых пигментов сохранялось на уровне растений, находящихся в оптимальных условиях минерального питания, что и позволило поддерживать интенсивность этого процесса на более высоком уровне. Установлено также, что под действием избытка цинка как при 22°C, так и при 4°C в побегах значительно возрастала (по сравнению с оптимальным уровнем металла) активность СОД, КАТ и ПО. При этом активность СОД и ПО оказалась практически равной в разных температурных условиях, тогда как активность КАТ в условиях гипотермии была гораздо ниже, чем при оптимальной температуре. Анализ содержания МДА не выявил усиления ПОЛ ни в одном варианте опыта.

Полученные результаты свидетельствуют об успешной адаптации горчицы белой к повышенному содержанию цинка в среде роста в условиях гипотермии, что свидетельствует о возможности ее использования в фиторемедиации загрязненных этим металлом почв в условиях Севера.

Работа выполнена при поддержке средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (№ FMEN-2022-0004).

**RESPONSE OF WHITE MUSTARD PLANTS TO THE COMBINED EFFECT OF EXCESS
ZINC AND LOW TEMPERATURE****Kholoitseva E.S., Batova Y.V., Kaznina N.M.**

IB KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Sinapis alba* L., antioxidants, growth, photosynthesis, temperature, zinc

КРИПТОХРОМЫ И ИХ РОЛЬ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ**Худякова А.Ю.¹, Кособрюхов А.А.^{1*}, Пашковский П.П.², Креславский В.Д.¹**¹Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук, Пущино, Россия²Институт физиологии растений Российской академии наук, Москва, Россия**E-mail: kosobr@rambler.ru***Ключевые слова:** адаптация, синий свет, криптохром, зеленый свет, стресс

Восприятие света растениями обеспечивается набором регуляторных фоторецепторов, которые реагируют как на изменение спектрального состава света, так и на его интенсивность, что позволяет им адаптироваться к изменениям внешней среды. Среди фоторецепторов наиболее изученными являются фитохромы, рецепторы красного и дальнего красного света. Рецепторы синего света (СС) и UV-A – криптохромы изучены в меньшей степени, и изучение роли криптохромов в восприятии СС и зеленого света (ЗС) и их участия в реакции растений на соотношение СС/ЗС в спектре излучения является одним из важнейших направлений современных исследований в области физиологии растений. В работе анализируются процессы, регулируемые криптохромами, с акцентом на их роль в адаптации фотосинтетического аппарата растений к стрессовым условиям окружающей среды. Также рассматривается роль ЗС в процессах, регулируемых криптохромами.

В результате обзора литературных и собственных экспериментальных данных, мы пришли к нескольким важным выводам относительно роли криптохромов, в особенности CRY1, в этих процессах. В условиях светового стресса для поддержания эффективного фотосинтеза критически важны высокая доля и достаточная интенсивность синего света (СС) в спектре излучения, а также соотношение СС/ЗС света, которые влияют на содержание активной формы криптохрома.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, № 22-74-00048.

CRYPTOCHROMES AND THEIR ROLE IN THE PROCESS OF PLANT ADAPTATION**Khudyakova A.Yu.¹, Kosobryukhov A.A.¹, Pashkovskiy P.P.², Kreslavski V.D.¹**¹Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia²K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia**Key words:** adaptation, blue light, cryptochrome, green light, stress

ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛИНА В ЛИСТЬЯХ КРЕСС-САЛАТА И ПШЕНИЦЫ ПРИ СОЛЕ-ЩЕЛОЧНОМ СТРЕССЕ

Чернышева А.К.

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

E-mail: nast483@bk.ru

Ключевые слова: двухфакторный эксперимент, кресс-салат, пролин, пшеница, соле-щелочной стресс

Негативное влияние солей и щелочной реакции среды на водный баланс растения снижают путем накопления осморегулирующих веществ. Участие пролина в осморегуляции и антиоксидантной защите растений считается общепризнанным. Исследовали изменения в содержании пролина методом Bates с соавт. в растениях кресс-салата (*Lepidium sativum* L.) и пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.) на начальном этапе развития соле-щелочного стресса – 1, 4, 24 ч. Двухфакторный эксперимент включал варианты с NaCl-засолением (0, 50, 100, 150, 200 мМ), высоких значений рН – щелочности (рН = 7–10) и варианты комбинированного воздействия соли и рН. С помощью двухфакторного дисперсионного анализа с определением силы влияния по Снедекору установили отдельное и взаимное действие факторов стресса на изменение содержания пролина.

Кресс-салат. В течение всего периода наблюдений пролин устойчиво накапливался, особенно при высоких концентрациях NaCl – 100, 150, 200 мМ, выше контроля в 3–6 раз, такое увеличение содержания пролина под влиянием NaCl-засоления соотносится с литературными данными по накоплению пролина в листьях культурных растений в условиях солевого стресса. Накопление пролина в наибольшей степени зависело от засоления и взаимного действия факторов стресса, показатели влияния находились в пределах 26–33%. Воздействие высоких значений рН на содержание пролина было ниже, но увеличивалось со временем: 9–10% – в первые часы наблюдений и возрастало до 21% – через сутки, что может быть обусловлено участием пролина в рН-регуляции цитоплазмы растений. Суммарное действие стресс-факторов на содержание пролина за период наблюдений увеличилось от 69 до 83%. Вероятно, что в условиях соле-щелочного стресса выработка пролина направлена на защиту от окислительного стресса и осморегуляцию.

Пшеница. Накопление пролина стабильно зависело от засоления, а также через 4 и 24 ч от взаимного действия факторов, показатели влияния 24–33%. Через 1 час после воздействия стресс-факторов в большинстве вариантов опыта отметили накопление пролина, увеличение пролина в 2–3 раза было вызвано засолением NaCl – 100, 200 мМ + рН = 7, 8, 9, на содержание пролина в равной степени влияли засоление и высокие значения рН – по 24%, взаимное действие факторов было низким – 6%. В следующие периоды тенденция к накоплению пролина слабеет, имелись варианты опыта со снижением содержания пролина в 2–3 раза. Через 4 ч показатель влияния засоления на изменение содержания пролина – 30%, влияние фактора высоких значения рН – 18%, заметно возросло влияние взаимного действия факторов – 25%. Через 24 ч отдельное засоление и взаимное действие факторов в наибольшей степени оказывали влияние на изменения количества пролина – 33% и 31%, отдельное воздействие рН снизилось в 2 раза. Таким образом, участие пролина в адаптации растений к солещелочному стрессу видоспецифично.

ALTERATIONS IN PROLINE CONTENT IN WATERCRESS AND WHEAT LEAVES INDUCED BY SALT-ALKALINE STRESS

Chernysheva A.K.

Perm State National Research University, Perm, Russia

Key words: two-factor experiment, watercress, proline, wheat, salt-alkaline stress

УСТОЙЧИВОСТЬ СОРТОВ ВИНОГРАДА К СТРЕССОРАМ ЛЕТНЕГО ПЕРИОДА ВО ВЛАЖНЫХ СУБТРОПИКАХ РОССИИ

Чумак М.И., Белоус О.Г.*

ФИЦ «Субтропический научный центр Российской академии наук», Сочи, Россия

*E-mail: oksana191962@mail.ru

Ключевые слова: виноград, сорта, засуха, водный режим

Культура винограда отличается широкой биологической пластичностью, вследствие чего он может расти и плодоносить в самых различных природно-климатических условиях (Трошин, 1999; Панкин и др., 2010; Олешук и др., 2017; Ненько и др., 2014 и т.д.). В 1954 году на опытно-производственных участках Федерального исследовательского центра «Субтропический научный центр Российской академии наук» (ФИЦ СНИЦ РАН), было высажено более 200 сортов различных эколого-географических групп столового винограда, с целью подбора наиболее продуктивных и качественных для промышленного размножения в условиях влажных субтропиков России. Однако, изменение климатических условий приводит к необходимости подбора сортов, обладающих комплексной устойчивостью, в связи с чем, подбор перспективного сортимента винограда для условий влажных субтропиков России» представляет несомненную актуальность. Объекты исследований – растения сортов винограда: Киш миш Лучистый, Мускат Блау, Совиньон Блан, Черный доктор, Восторг, Красностоп Капри, Красностоп Золотовского, Киш миш Велес и Память учителя.

Ежемесячно нами идет определение биохимических компонентов, связанных с комплексной устойчивостью растений винограда (фотосинтетические пигменты, антоцианы). В неблагоприятные по водообеспеченности периоды проводится анализ водного режима 9 сортов. Определено, что сухое вещество в листьях колеблется в пределах 24,71%; тургесцентность тканей составляет в среднем 43,9%; потеря воды (ПВ) – 15,68% и интенсивность транспирации (ИТ) около 6, мг/см²·час. При этом, наиболее активное накопление сухих веществ в листьях характерно для сортов Восторг (25,21%), Киш миш Лучистый (25,45%), Красностоп Золотовского (27,92%) и Память учителя (29,81%). Интенсивность транспирации, обеспечивающая накопление сухих веществ, наиболее активна у сорта Киш миш Лучистый (16,45 мг/см²·час). Более оводненные листья у сортов Мускат Блау (57,43%) и Совиньон Блан (52,33%), характеризуются наименьшим водным дефицитом 42,58–47,67%, что в 1,2–1,3 раз меньше, чем у остальных сортов. У сорта Совиньон Блан отмечена наименьшая потеря воды (8,26%, при среднем значении у сортов – 15,68%).

Работа выполнена в рамках ГЗ FGRW-2022-0012, рег. № 1021052906669-9-4.4.1;1.6.11.

RESISTANCE OF GRAPE CULTIVARS TO SUMMER STRESSORS IN HUMID SUBTROPICS OF RUSSIA

Chumak M.I., Belous O.G.

Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences Sochi, Russia

Key words: grapes, cultivars, drought, water regime

**АДАПТИВНАЯ РЕАКЦИЯ ФИКОБИОНТА ЛИШАЙНИКА
PELTIGERA APHTHOSA (L.) WILLD. НА УФ-В ОБЛУЧЕНИЕ****Шелякин М.А. *, Захожий И.Г., Силина Е.В., Малышев Р.В.**Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,
Сыктывкар, Россия

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

Ключевые слова: лишайники, УФ-В радиация, фотосинтез, про-/антиоксидантный метаболизм, антиоксидантные ферменты

УФ-В радиация – неотъемлемая часть солнечного спектра, которая селективно воспринимается всеми представителями растительного мира и вызывает ряд специфических и неспецифических реакций. По последним данным климатические изменения вызывают увеличение притока УФ-В радиации к поверхности Земли, что может привести к нарушениям в растительных сообществах и агроценозах. Лишайники – уникальная фотоавтотрофная симбиотическая ассоциация гриба (микобионт) с зелеными водорослями и/или цианобактериями (фотобионт). Их талломы устойчивы к действию экстремальных факторов среды, однако весьма чувствительны к нарушению условий их естественных местообитаний. На долю фотобионта приходится не более 10% биомассы лишайника, но ему принадлежит ключевая роль в обеспечении жизнедеятельности симбиотической системы. При этом механизмы адаптации фотобионта лишайников, как важных компонентов различных экосистем, к действию УФ-В облучения, изучены недостаточно.

Исследовали влияние УФ-В радиации на комплекс физиолого-биохимических показателей у изолированных из облученных талломов *P. aethusa* клеток фикобионта – зеленой водоросли *Scolecococcus*. УФ-В облучение приводило к синтезу меланиновых пигментов в гифах микобионта верхнего корового слоя талломов, которые эффективно экранировали клетки фотобионта от фотонов УФ-В. Поэтому клетки фотобионта после изоляции из стрессированных талломоов сохраняли стабильные функциональные показатели фотосистемы II и темновых реакций фотосинтеза. При этом выявлено снижение скорости выделения O₂ клетками фотобионта на свету после облучения талломов высокими дозами УФ-В, что может указывать на подавление активности кислород-выделяющего комплекса. Также отмечали повышение содержания прооксидантов в клетках фикобионта, что свидетельствует о развитии окислительного стресса. Обсуждается участие пигментов виолаксантинового цикла и нефотосинтетических пигментов в адаптации фотобионта к действию УФ. Впервые показано участие основных антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы, аскорбатпероксидазы) в приспособлении фотобионта лишайника к действию УФ-В. Установлен состав и активность их изоформ. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дифференциальной оценки функциональной активности клеток фотобионта и открывают перспективы для изучения взаимодействия между компонентами лишайникового симбиоза на молекулярно-генетическом уровне.

Работа выполнена в рамках темы НИОКТР ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН № 122040600021-4.

**ADAPTATION OF THE LICHEN *PELTIGERA APHTHOSA* (L.)
WILLD. PHYCOBIONT TO UV-B IRRADIATION****Shelyakin M.A., Zakhoshy I.G., Silina E.V., Malyshev R.V.**Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktyvkar, Russia**Key words:** lichens, UV-B radiation, photosynthesis, pro-/antioxidant metabolism, antioxidant enzymes

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА *PLANTAGO MAJOR*

Шималина Н.С.*, Антонова Е.В., Позолотина В.Н.

Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*E-mail: nadia_malina@mail.ru

Ключевые слова: подорожник большой, семенное потомство, радиоактивное загрязнение, малые дозы, погодные условия

Проанализирована межгодовая изменчивость жизнеспособности семенного потомства подорожника большого (*Plantago major* L.), произрастающего в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) и на фоновых территориях, с учетом вариабельности погодных параметров за 12 лет наблюдений. Дозовые нагрузки на родительские растения *P. major* в градиенте загрязнения составляли 14,51–165,90 мкГр/ч, эти значения относятся к диапазону малых доз для растительных организмов. Семена собирали в ценопопуляциях импактной и фоновой зон в конце августа, проращивали методом рулонной культуры. Жизнеспособность оценивали по выживаемости трехнедельных проростков и длине корней. Для оценки погодных условий в разные годы использовали метеоданные двух локальных метеостанций, расположенных вблизи зоны ВУРСа и фоновых участков.

Межгодовая изменчивость выживаемости и длины корней проростков была высокой, в большинстве случаев диапазоны изменчивости показателей в импактных и фоновых выборках перекрывались. Количество осадков играет главную роль в комплексе погодных условий, определяющих качество семян подорожника. Наибольшее ухудшение жизнеспособности семенного потомства *P. major* как в фоновой, так и в импактной зоне было отмечено в условиях сильной засухи 2010 г. Количество значимых зависимостей между показателями жизнеспособности семян и погодными параметрами в импактных выборках было выше, чем фоновых, т.е. импактные растения были более восприимчивы к погодным условиям. У фоновых выборок 88,9% биологических откликов отрицательно коррелировали с погодными факторами, а у импактных выборок 77,8% корреляций были положительными. Не установлено определенной связи показателей, характеризующих жизнеспособность семенного потомства *P. major*, с мощностью поглощенной дозы, что является типичным для диапазона малых доз.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания ИЭРиЖ УрО РАН (№ 122021000077-6) и проекта РНФ (грант № 21-74-00038).

INFLUENCE OF IONIZING RADIATION AND WEATHER CONDITIONS ON INTERANNUAL VARIATION OF *PLANTAGO MAJOR* SEED PROGENY VIABILITY

Shimalina N.S., Antonova E.V., Pozolotina V.N.

Institute of Plant and Animal Ecology, UB of RAS, Ekaterinburg, Russia

Key words: greater plantain, seed progeny, radioactive contamination, low dose, weather conditions

ВЛИЯНИЕ МЕЛАТОНИНА НА АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ДЫХАНИЕ ЛИСТЬЕВ АРАБИДОПСИСА ДИКОГО ТИПА И МУТАНТА ПО СИНТЕЗУ БРАССИНОСТЕРОИДОВ (*DET2*) В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**Шугаева Н.А., Бычков И.А., Буцанец П.А., Шугаев А.Г.***

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

*E-mail: ag_shugaev@ifr.moscow

Ключевые слова: *Arabidopsis thaliana*, мутанты, дыхание листьев, мелатонин, brassinosteroids

Известно, что мелатонин и brassinosteroids (БС) усиливают устойчивость растений к неблагоприятным факторам среды. Хорошо установлено, что экзогенный мелатонин и brassinosteroids активируют антиоксидантные ферменты. Более того, мелатонин, являясь антиоксидантом, связывает АФК и АФА, а БС способствуют усиленной продукции осмопротекторов. Учитывая одинаковую направленность действия данных гормонов при стрессе, возникает вопрос об их взаимодействии. С целью изучения данного вопроса был проведён сравнительный анализ темнового дыхания листьев арабидопсиса дикого типа (ДТ) и мутанта по синтезу БС (*det2*) в условиях фотоокислительного стресса и влияние на него экзогенного мелатонина. Было показано, что избыточное освещение сильно стимулирует дыхание листьев, как растений ДТ так и мутанта. С использованием ингибиторного анализа было показано, что, как и ожидалось, активация дыхания растений ДТ при фотоингибировании, в основном связана с усилением альтернативного пути митохондриального окисления, катализируемого альтернативной CN-резистентной оксидазой (АО). Однако альтернативное дыхание в условиях ограниченного синтеза БС у растений мутанта *det2* активируется при стрессе гораздо слабее (примерно в 3 раза). Эти результаты подтверждают литературные данные о БС-вызванной активации альтернативного пути митохондриального окисления.

Исследование влияния экзогенного мелатонина на альтернативный путь митохондриального окисления в условиях избыточного освещения обнаружило, что данный гормон тормозит альтернативное дыхание листьев арабидопсиса ДТ. Это вероятно объясняется его антиоксидантными свойствами инактивации АФК, что предварительно было показано нами и другими исследователями. Напротив, в условиях пониженного содержания БС (мутант *det2*) экзогенный мелатонин стимулирует альтернативное дыхание листьев. Учитывая недавно полученные литературные данные об индукции мелатонином синтеза БС, логично предположить, что данная стимуляция вызвана увеличением содержания БС, которые в свою очередь индуцируют АО. Исходя из полученных результатов и литературных данных о взаимной индукции биосинтеза исследуемых гормонов можно сделать предварительный вывод о тесном взаимодействии мелатонина и БС в условиях стресса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект №23-14-00011) и в рамках государственного задания (тема № 122042700044-6).

INFLUENCE OF MELATONIN ON ALTERNATIVE RESPIRATION OF LEAVES OF ARABIDOPSIS WILD TYPE AND BRASSINOSTEROID SYNTHESIS MUTANT (*DET2*) UNDER INTENSE LIGHTING CONDITIONS**Shugaeva N.A., Buchkov I.A., Butsanets P.A., Shugaev A.G.**

Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: *Arabidopsis thaliana*, mutants, leaf respiration, melatonin, brassinosteroids

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА АРХИТЕКТУРУ АССИМИЛЯЦИОННЫХ ТКАНЕЙ
C₄-РАСТЕНИЯ *BASSIA PROSTRATA*****Юдина П.К.¹, Иванова Л.А.^{1,2*}, Ронжина Д.А.¹, Мигалина С.В.¹,
Калашникова И.В.¹, Иванов Л.А.^{1,2}**¹Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия²Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*E-mail: ivanova.larissa@list.ru**Ключевые слова:** аридность, кранц-анатомия, мезофилл, обкладка

Различия между клетками мезофилла и обкладки у C₄-растений являются как биохимическими, так и морфологическими. В настоящее время имеется относительно мало информации о внутривидовой изменчивости листовых признаков C₄-растений на клеточном уровне и взаимосвязи признаков с климатом. Мы проанализировали функциональные параметры листьев и двух типов фотосинтетических клеток у C₄-полукустарника *Bassia prostrata* (L.) Beck (Amaranthaceae) в разных частях его ареала в Северной Евразии. Уровень изменчивости признаков был разным. Наиболее изменчивыми признаками были число клеток на единицу площади листа и общая площадь поверхности клеток мезофилла (коэффициент вариации 63–66%), мало изменялись толщина листа, удельная плотность листа и количество хлоропластов в клетке (коэффициент вариации 15–19%). Удельная плотность и толщина листа увеличивались с аридностью климата, а число клеток мезофилла на единицу площади листа отрицательно коррелировало со среднегодовым количеством осадков. Однако, наиболее значимым для связи с климатом было соотношение параметров клеток мезофилла и обкладки. Мы обнаружили 4–5-кратные различия между мезофиллом и обкладкой по объему и числу клеток. Соотношение мезофилл/обкладка по числу клеток увеличивалось с 2 до 6 клеток мезофилла на одну клетку обкладки с уменьшением среднегодового количества осадков. С увеличением аридности климата происходило возрастание отношения объема клетки обкладки к объему клетки мезофилла, что влияло на поверхностно-объемные отношения клеток. Мы предполагаем, что такие изменения связаны с регуляцией процессов диффузии CO₂ в листьях C₄-растений.

Работа выполнена в рамках государственного задания 123112700111-4 и FEWZ-2024-0007.

**THE INFLUENCE OF CLIMATE ON THE ARCHITECTURE OF ASSIMILATION
TISSUES OF C₄ SPECIES *BASSIA PROSTRATA*****Yudina P.K.¹, Ivanova L.A.^{1,2}, Ronzhina D.A.¹, Migalina S.V.¹,
Kalashnikova I.V.^{1,2}, Ivanov L.A.^{1,2}**¹Botanical Garden of Ural Division of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia²Tyumen State University, Tyumen, Russia**Key words:** climate aridity, kranz-anatomy, mesophyll, bundle-sheath

РОЛЬ АГГЛЮТИНИНА ЗАРОДЫША ПШЕНИЦЫ В ЗАЩИТНОМ ДЕЙСТВИИ 24-ЭПИБРАССИНОЛИДА НА РАЗЛИЧАЮЩИЕСЯ ПО СТРАТЕГИИ АДАПТАЦИИ К ЗАСУХЕ ЭКОТИПЫ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Юлдашев Р.А. *, Авальбаев А.М., Плотников А.А., Коряков И.С., Аллагулова Ч.Р.

Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа, Россия

*E-mail: yuldashevra@gmail.com

Ключевые слова: засухоустойчивость, пшеница, экотипы, лектины, засуха

Исследовали вклад лектина агглютинина зародыша пшеницы (АЗП), относящегося к защитным белкам, в реализацию защитного действия 24-эпибрассинолида на проростки двух различающихся по стратегии адаптации к засухе экотипов пшеницы, подвергнутых засухе. Первый экотип – степной волжский – был представлен сортом Экада 70, второй экотип – лесостепной западносибирский – сортом Зауральская Жемчужина.

Растения лесостепного западносибирского экотипа отличаются замедленным ростом в период “всходы-колошение” и активным развитием за счет обильных для зоны их возделывания дождей второй половины лета. Для растений степного волжского экотипа характерен активный рост и засухоустойчивость на начальных стадиях онтогенеза с тем, чтобы максимально использовать весенние запасы почвенной влаги. К моменту наступления летней засухи к началу фазы трубкования растения этого экотипа образуют хорошо разветвленную сеть корней, что способствует формированию хорошего урожая в этих условиях.

Выявлено, что содержание АЗП в проростках обоих сортов повышалось в ходе воздействия дефицита влаги, однако растения более устойчивого на раннем этапе онтогенеза сорта Экада 70 отличались более ранним и более чем вдвое большим накоплением АЗП. Вместе с тем, предобработка 24-эпибрассинолидом повышала устойчивость проростков Экада 70 к засухе, что сопровождалось меньшим уровнем накопления АЗП в сравнении с необработанными гормонами проростками. Это свидетельствует о снижении стрессовой нагрузки на растения пшеницы степного волжского экотипа в ходе их предобработки 24-эпибрассинолидом. Однако, предобработка фитогормоном не оказывала защитный эффект на проростки Зауральская Жемчужина в условиях дефицита влаги, что отразилось в отсутствии изменений в содержании лектина. Полученные результаты могут свидетельствовать в пользу вовлечения АЗП в качестве одного из компонентов индуцированных 24-эпибрассинолидом защитных реакций растений пшеницы разных экотипов в ответ на дефицит влаги.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00246, <https://rscf.ru/project/23-26-00246/>.

THE ROLE OF WHEAT GERM AGGLUTININ IN THE PROTECTIVE EFFECT OF 24-EPIBRASSINOLIDE ON WHEAT ECOTYPES WITH DIFFERENT DROUGHT ADAPTATION STRATEGIES UNDER DEHYDRATION

Yuldashev R.A., Avalbaev A.M., Plotnikov A.A., Koryakov I.S., Allagulova Ch.R.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa, Russia

Key words: drought tolerance, wheat, ecotypes, lectins, drought

Секция 4
«Фитобиотехнологии:
ОТВЕТ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ»

**“THE LAW OF BIOGEOTECHNOLOGICAL MODELING”
AND THE “NOOSPHERIC” IDEA OF V.I. VERNADSKY****Dushkov V.Yu.**

Semenov Federal Research Centre for Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*E-mail: vdushkov@yandex.ru***Key words:** biogeocenosis, biogeotechnology, Noosphere

In 1950, as part of a comprehensive expedition on protective afforestation, “the founder of the doctrine of the life of the soil” Prof., Laureate of the USSR State Prize A.A. Rode, with the support of Academician V.N. Sukachev, organized the Dzhanybek Scientific Research Station (Biostation), RAS. Based on the approach of V.V. Dokuchaev and the biogeocenotic (BGC) idea of V.N. Sukachev, A.A. Rode carried out the laying of a unique agroforestry landscape. In extreme conditions of the saline clay semi-desert of the Northern Caspian Sea, with desert, semi-desert, dry-steppe and steppe biotopes, he conducted detailed BGC studies of natural and artificially created biogeocenoses. Twenty-four years later, the results of these studies were presented in a series of articles and a collective monograph “Biogeocenotic foundations of the development of the semi-desert of the Northern Caspian Sea” (Rode et al., 1974). In personal conversations, the main of which took place in 1976, A.A. Rode recommended the author of this work to consider the BGC of the biostation from the noospheric positions given by V.I. Vernadsky in the work “Scientific Thought as a planetary phenomenon”.

Generalization of 35 years of research conducted at the biostation showed that in successfully created phytocenoses, as a result of successions (“self-organization”), complex biogeocenoses are formed that increase productivity, biodiversity and human living conditions in a poor region (Dushkov et al. Biogeocenotic foundations of forest reclamation development of saline lands of the semi-desert of the Northern Caspian Sea // Nature and Resources. M. UNESCO, 1988, vol. 24, No. 2-4 pp. 45–63. In 1989, the work was published in French, English, Chinese and Spanish).

The generalization of the materials obtained at the biostation for 60 years determined the need for the formation of a new scientific direction, to which we gave the name – biogeotechnology (BGT). Literally, from Greek. – **bio-geo-techno-logy** is the science of life on earth, based on skill, art. The main goal of BGT which is the second independent part of biogeocenology, is aimed at developing a fundamental theory and principles (and on their basis – technology packages) that provide a reasonable, conscious relationship between humanity and the evolving biogeocenotic (phytocenotic) cover of the Earth (Dushkov V.Yu. The Law of Biogeotechnological modeling. M. KMK Scientific Press Ltd. 2016. 196 p.).

Biogeotechnology is based on the “*Law of Biogeotechnological modeling*”, which translates the “spontaneous” (Vernadsky V.I.) activity of mankind into the channel of the natural co-creator. In the general formulation, the law states: ***The evolution of the mind and the stability of life on Earth are determined by the conscious contribution of information, energy and the work of humanity to the launch and maintenance of progressive, basic processes of evolution – “self-organization” and “ordering”, with the formation of a coevolutionary attractor (homeostasis) in successful versions of self-reproducing forms of matter*** (Dushkov, 2016).

The law of BGT modeling proceeds from the fundamental provisions and discoveries of outstanding, primarily Russian scientists: V.V. Dokuchaev, N.I. Vavilov, V.I. Vernadsky, V.N. Sukachev, A.A. Rode, N.V. Timofeev-Resovsky, M. Eigen, I. Prigozhin, A. Lima de Faria, E.M. Galimov. He develops biogeocenology “based on... achievements of a number of other sciences” and implements V.N. Sukachev idea of a reasonable transformation of the BGC cover of the Earth. The open law and BGT formed on its basis bring humanity close to the materialization of the “fantastic” idea of building the Noosphere – the Russian version of sustainable development.

BIOAUGMENTATION OF CADMIUM-CONTAMINATED AGRICULTURAL SOILS USING *AMARANTHUS CAUDATUS* AND BENEFICIAL PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA

Kumar A.¹, Tripti², Maleva M.G.²

¹Gandhi Institute of Technology and Management (GITAM), GITAM School of Science, Visakhapatnam, Andhra Pradesh, India

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

*E-mail: adarsh.biorem@gmail.com

Key words: amaranth, plant growth promoting rhizobacteria, field emission-scanning electron microscopy, fourier-transform infrared spectroscopy, bioremediation

Cadmium (Cd) contamination in soil due to agricultural practices is a global issue, as Cd readily accumulates in soil and transfers to edible crops. Amaranthus, a fast-growing lignocellulosic plant, has been underexplored for biochar production – a porous, nutrient-rich carbon-sequestering material, and its potential role in microbe-assisted Cd remediation remains largely unknown. In this study, two biochars were produced from *Amaranthus caudatus* L. cultivars, *Gibbosus alba* (GA) and *Festuca rubra* (FR), using a self-designed retort with indirect heating. Both biochars were found to be alkaline (pH 9.98–10.17) and exhibited a highly porous structure (as observed via field emission-scanning electron microscopy) with multiple oxygen-containing functional groups on their surfaces (identified through Fourier-transform infrared spectroscopy), which enhanced Cd sorption.

Two Cd-tolerant rhizobacteria, *Arthrobacter grimontii* strain SA10a and *Pseudomonas koreensis* strain SA10b, isolated from *Sinapis alba*, demonstrated various plant growth-promoting attributes, including indole-3-acetic acid production, siderophore production, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid production, ammonia production, and inorganic phosphate solubilization. These strains were resistant to a broad range of antibiotics and tolerated up to 5 mg L⁻¹ of Cd, with strain SA10b showing superior results.

When *A. caudatus* cultivars were grown in pots spiked with 10 mg kg⁻¹ of Cd and 1% biochar of their respective cultivars, followed by inoculation with *P. koreensis* strain SA10b, they exhibited enhanced biometric growth (shoot biomass and length, leaf area, and number) and physiological parameters (chlorophyll a and b content, and free proline content) compared to treatments with only biochar or SA10b alone, with the FR cultivar showing better results than GA. Additionally, the highest shoot Cd concentration was observed in the control (54 mg kg⁻¹), while the lowest was in the BiocharFR+SA10b treatment (6 mg kg⁻¹), indicating maximum Cd stabilization by *A. caudatus* FR. This suggests that *A. caudatus* FR is suitable for next-generation cash crops with minimal or negligible Cd accumulation. Furthermore, lignocellulosic biomass below toxicity limits can be reused for biochar and bioenergy production.

We appreciate the Field Emission-Scanning Electron Microscopy (FESEM-EDS) analysis from the IIT-ISM, Dhanbad, India. The work was also supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework State Assignment FEUZ-2024-0011.

БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ БИОЧАРА И ГАЛОТОЛЕРАНТНЫХ PGP-РИЗОБАКТЕРИЙ ПОВЫШАЕТ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ *HELIANTHUS ANNUUS* L.**Авраменко А.В., Тугбаева А.С. *, Салата А., Борисова Г.Г., Малева М.Г.**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: anastasia.tugbaeva@urfu.ru**Ключевые слова:** подсолнечник однолетний, хлорид натрия, ростстимулирующая активность, морфофизиологические параметры, устойчивость растений

Увеличение площади засоленных почв, вызванное климатическими изменениями, является одной из актуальных проблем современности. Цель исследования – оценить эффекты бактериального биоудобрения (ББУ), приготовленного на основе древесного биочара и галотолерантного штамма PGP-ризобактерий, а также хлорида натрия на морфофизиологические характеристики *Helianthus annuus* L. (подсолнечник однолетний) при раздельном и совместном использовании. Эксперимент в горшечных культурах включал 4 варианта в трехкратной повторности: контроль (торфогрунт); торфогрунт с добавлением ББУ (2,5% по объему); торфогрунт с поливом раствором хлорида натрия (80 мМ NaCl, 2 раза в неделю); торфогрунт с добавлением ББУ и поливом хлоридом натрия в аналогичных концентрациях.

Полив растений раствором NaCl увеличивал сырую биомассу побегов подсолнечника (на 27% по сравнению с контролем), однако уменьшал вес корней в 2,0 раза. При этом выход электролитов из листьев повышался на 19% по сравнению с контролем, а коэффициент повреждения мембран составлял 29%. Добавление ББУ к торфяному почвогрунту увеличивало биомассу подсолнечника в среднем на 45% в сравнении с контролем (независимо от полива NaCl). Биоудобрение способствовало также стабилизации клеточных мембран: при использовании ББУ совместно с NaCl выход электролитов и коэффициент повреждения мембран существенно снижались (на 14 и 10%, соответственно). Кроме того, отмечен ярко выраженный положительный эффект ББУ на содержание фотосинтетических пигментов в листьях подсолнечника. Сумма хлорофиллов при внесении ББУ увеличивалась в 1,8 раз, а при совместном действии с NaCl – в 2,3 раза, в то время как полив растений соевым раствором без ББУ достоверного влияния на их содержание не оказывал. Аналогичная ситуация наблюдалась и по содержанию каротиноидов в листьях *H. annuus*: ББУ увеличивало их количество в 1,4 раза, в то время как при совместном использовании ББУ и NaCl оно возрастало в 1,7 раз по сравнению с контролем. При использовании ББУ водообеспечение листьев увеличивалось на 17%, а водный дефицит снижался на 18%.

Проведенное исследование позволяет сделать вывод о возможности выращивания подсолнечника на засоленных территориях, поскольку эта культура достаточно устойчива к солевому стрессу, в особенности с применением биоудобрения на основе галотолерантных PGP-ризобактерий и биочара.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, грант № 24-76-10062, <https://rscf.ru/project/24-76-10062/>.

BIOFERTILIZER BASED ON BIOCHAR AND HALOTOLERANT PGP-RHIZOBACTERIA INCREASES SALT TOLERANCE OF *HELIANTHUS ANNUUS* L.**Avramenko A.V., Tugbaeva A.S., Salata A., Borisova G.G., Maleva M.G.**

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: sunflower, sodium chloride, plant growth promoting activity, morphophysiological parameters, plant resistance

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ «БОРОДАТЫХ» КОРНЕЙ *GLYCHERRIZA URALENSIS* ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ БИОМАССЫ И ПРОДУКЦИИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Андрейчук Д.Д.^{1,2*}, Амброс Е.В.¹

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

*E-mail: d.andreichuk@g.nsu.ru

Ключевые слова: солодка уральская, «бородатые» корни, фенольные соединения, антиоксидантная активность, биомасса

Солодка уральская (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch. ex DC.) является ценным пищевым и лекарственным растением. Культуры «бородатых» корней (БК) могут расти неограниченно без применения экзогенных регуляторов роста и являются перспективными альтернативными источниками растительного сырья. Цель данного исследования – оптимизация условий культивирования БК *G. uralensis* для увеличения биомассы и продукции фенольных соединений (ФС) с высокой антирадикальной активностью (АРА) этанольных экстрактов. Пять линий БК выращивали 112 суток без пересадок в колбах Эрленмейера (250 мл), содержащих 25 или 50 мл жидкой среды Мурасиге-Скуга (МС) с начальной массой 0,04 г (1,6 и 3,2 г/л, соответственно). В конце цикла культивирования оценивали суммарное содержание ФС, флавоноидов и АРА экстрактов по отношению к свободному радикалу 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилу. Для ускорения роста и увеличения биомассы БК использовали «кондиционирующий фактор» – метаболиты жидкой среды МС из-под вступивших в фазу активного роста культур БК (32 суток). Анализ динамики роста БК показал, что при культивировании в 25 мл среды большинство линий характеризовались более высокими показателями биомассы, содержания ФС и флавоноидов по сравнению с 50 мл среды. Зависимости АРА от объема среды не обнаружено, за исключением линии 10, которая отличалась активным ростом, повышенным содержанием ФС, флавоноидов и АРА при культивировании в 25 мл среды. Оценка влияния добавления в пересаженную культуру 5% и 20% кондиционирующей среды на динамику роста и биомассу БК показала, что при увеличении концентрации среды, ускоряется их выход в экспоненциальную фазу роста. Полученные результаты могут быть полезны для подбора оптимальных условий культивирования БК лекарственных растений с целью увеличения выхода биомассы и ценных вторичных метаболитов.

OPTIMIZATION OF CULTIVATION CONDITIONS FOR HAIRY ROOTS OF *GLYCYRRHIZA URALENSIS* TO INCREASE BIOMASS AND PHENOLIC COMPOUND PRODUCTION

Andreichuk D.D.^{1,2}, Ambros E.V.¹

¹Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Key words: *Glycyrrhiza uralensis*, hairy roots, phenolic compounds, antioxidant activity, biomass

**ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ СУСПЕНЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ КЛЕТОК
ARTEMISIA JACUTICA DROBOW****Антонова Е.Е. *, Кучарова Е.В., Охлопкова Ж.М.**

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск, Россия

*E-mail: ee.antonova@s-yfu.ru

Ключевые слова: *Artemisia jacutica*, динамика роста, суспензионная культура, *in vitro*

Растительные культуры клеток *in vitro* являются не только моделью для изучения биологии и физиологии клеток, но и субстанцией целенаправленного накопления востребованных для фармацевтической промышленности биологически активных веществ включая вторичные метаболиты. Одним из актуальных объектов в данном направлении являются представители рода *Artemisia* L., богатые разными группами вторичных метаболитов. К примеру, *Artemisia jacutica* Drobow – полынь якутская, эндемик Восточной Сибири, содержит моно- и сесквитерпеноиды, фенолы и их производные, флавоноиды, органические кислоты. В экспериментальных и клинических исследованиях были показаны противовоспалительные, ранозаживляющие, анальгезирующие, антибактериальные и антифунгальные свойства эфирного масла и экстрактов *A. jacutica*.

Целью данной работы является получение первичной суспензионной культуры клеток *A. jacutica* на основе материала дикорастущего растения, перспективной в качестве источника сырья для пищевой добавки и получения биологически активных веществ.

На первом этапе кусочки каллусной культуры клеток *A. jacutica*, полученной в наших ранних работах, при помощи пинцета были перенесены в жидкую питательную среду МС (1/2) с добавлением разного соотношения фитогормонов. Колбы объемом 50 мл с образцами помещали в мультишейкер для бесперебойного перемешивания при комнатной температуре. При инициации роста клеточных агломератов производили пересадку одинаковых порций суспензии в новые среды для изучения динамики роста биомассы клеток. Наиболее интенсивный и стабильный рост биомассы клеток суспензионной культуры *A. jacutica* наблюдался при культивировании в МС (1/2) с добавлением 0,5 мг/л НУК и 0,2 мг/л БАП. При этом цикл роста составлял 16 дней, прирост сырого веса был равен $5,0817 \pm 0,3$ г, прирост сухого веса – $0,5823 \pm 0,04$ г. Индекс роста был определен как 7,3967. На других вариантах питательной среды фиксировали менее удовлетворительные показатели роста. Далее планируется изучение морфологического строения клеток и анализ фитохимического профиля полученной суспензионной культуры клеток *A. jacutica*.

Работа выполнена при поддержке проектной деятельности лабораторий СВФУ (НИП учебно-научной лаборатории «Молекулярно-генетические и клеточные технологии»).

**OBTAINING A PRIMARY SUSPENSION CELL CULTURE OF
ARTEMISIA JACUTICA DROBOW****Antonova E.E., Kucharova E.V., Okhlopko Z.M.**

North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Key words: *Artemisia jacutica*, growth dynamics, suspension culture, *in vitro*

ПРЕМОДУЛЯЦИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА В ПЛАСТИДАХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ТАБАКА ОТ ХОЛОДОВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Баранова Е.Н.^{1,2,3}

¹АНО Институт стратегии развития, Москва, Россия

²Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

³Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА), Москва, Россия

E-mail: greenpro2007@rambler.ru

Ключевые слова: хлоропласт, АФК, ультраструктура, абиотический стресс, супероксиддисмутаза

АФК-зависимая индукция окислительного повреждения может быть использована в качестве триггера, инициирующего генетически детерминированную неспецифическую защиту в клетках растений. Повышенная активность супероксиддисмутазы в пластидном компартменте трансгенных растений табака позволяет толерантно относиться к окислительному фактору стрессов окружающей среды, снижая негативное действие АФК. Такая устойчивость создает проблемы и при выращивании в нормальных условиях нарушает расположение внутри хлоропластных субдоменов, что приводит к модификации стромальных тилакоидов, и вероятно, существенно влияет на процессы фотосинтеза. Частично это компенсируется тем, что одновременно в нормальных условиях продукция пероксида индуцирует активацию ферментов детоксикации АФК. Для экспериментов использовали FeSOD-трансгенные и WT растения табака в возрасте 14 дней. Холодовой стресс моделировался путем выдержки при температуре 8°C в течение 7 дней. Контейнеры были возвращены в оптимальные условия (24°C) после воздействия холода на сутки. Для фенотипирования растений табака использовали Феносканер Синерготрон ИСР02-01 (ИСР, Россия). Препараты для ЭМ анализировали в электронном микроскопе Hitachi H-500. В данной работе мы подтверждаем, что один из возможных подходов к формированию эффективной защиты фотосинтетических структур за счет внедрения гена FeSOD из *Arabidopsis thaliana* в геном табака оснащенного сигнальной последовательностью, нацеливающей белок в пластиду может эффективно увеличивать АФК, улучшая адаптируемость. Увеличение пула перекиси водорода предотвращает значительные повреждения ультраструктуры клеток. Очевидно, это не может не влиять на обмен веществ и при выращивании в нормальных условиях несколько нарушает расположение внутрехлоропластных субдоменов. Это приводит к модификации стромальных тилакоидов, значительно изменяя фотосинтетические процессы, которые регулируют эффективность Фотосистемы II. Это компенсируется тем, что одновременно в нормальных условиях продукция перекиси водорода индуцирует активацию ферментов детоксикации АФК. Следующим шагом совершенствования технологии является использование индуцибельных промоторов в кассете экспрессии или добавление к генетической конструкции других генов, кодирующих ферменты, захватывающие перекись водорода, расположенные ниже по метаболической цепи.

PREMODULATION OF OXIDATIVE STRESS IN PLASTIDS TO PROTECT TOBACCO PLANTS FROM COLD INJURY

Baranova E.N.^{1,2,3}

¹ANO Institute for Development Strategy, Moscow, Russia

²Main Botanical Garden named after N.V. Tsitsin of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural K.A. Timiryazev Academy (RSAU-MTAA), Moscow, Russia

Key words: chloroplast, ROS, ultrastructure, abiotic stress, superoxide dismutase

ВЛИЯНИЕ ГРИБА ЭРИКОИДНОЙ МИКОРИЗЫ *OIDIODENDRON MAIUS* G.L. BARRON НА РАСТЕНИЯ *VACCINIUM MACROCARPON* AIT. НА ПРОТЯЖЕНИИ 10 МЕСЯЦЕВ СОКУЛЬТИВИРОВАНИЯ**Березина Е.В.^{1*}, Приписнова Е.С.¹, Стручкова И.В.^{1,2}**¹ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия²ООО “Микофит”, Бор, Россия

*E-mail: berezina.kat@gmail.com

Ключевые слова: биомасса, клюква, микромицет, пигменты, фенольные соединения

Вересковые растения формируют с грибами эрикоидную микоризу, внимание к которой растет в связи с большой пищевой и фармацевтической ценностью самих растений. Микоризообразующие грибы оказывают комплексное влияние на метаболизм растения-хозяина, способствуя его росту, расселению и/или адаптации к стрессовым условиям. Инокуляция посадочного материала грибами эрикоидной микоризы часто рассматривается как необходимое условие успешного выращивания вересковых растений, однако в отношении клюквы эффекты сокультивирования не исследованы.

Целью работы стало изучение влияния гриба эрикоидной микоризы *Oidiodendron maius* G.L. Barron на рост и накопление фотосинтетических пигментов и фенольных соединений у клюквы крупноплодной *Vaccinium macrocarpon* Ait.

Растения *V. macrocarpon* получали методом клонального микроразмножения на питательной среде Андерсона, затем высаживали в грунт по 20 штук в горшки на 0,5 л и помещали к ним по 8 блоков (d = 3 мм) из питательной среды Чапека-Докса без мицелия (контроль) или с развитым мицелием гриба *O. maius* ВКМ F3860 (опыт). У растений оценивали морфологические характеристики (длину, разветвленность побегов, сырую и сухую массу стеблей, листьев, корней) и содержание фотосинтетических пигментов и фенольных соединений в листьях и корнях.

Положительное влияние гриба на рост растений проявилось уже через 5 месяцев сокультивирования, когда длина побегов в опыте была на 23% больше, чем в контроле. Это, в свою очередь, положительно сказалось на накоплении биомассы растений, особенно через 10 месяцев сокультивирования: увеличение сырой и сухой массы листьев и корней к этому времени составило около 50%.

Содержание фотосинтетических пигментов и фенольных соединений в листьях растений как в опыте, так и в контроле, на протяжении 10 месяцев не отличалось. Однако содержание таких фенольных соединений, как проантоцианидины, в корнях 10-месячных опытных растений было на 37% меньше по сравнению с контрольными растениями. Это снижение может иметь значение для долговременного поддержания симбиотических отношений между грибом и растением-хозяином. В целом же, стимуляция роста растений позволяет рекомендовать искусственную микоризацию клюквы грибом *O. maius* при создании плантаций.

Исследование выполнено за счет средств гранта РФФИ №22-74-00107.

EFFECT OF ERICOID MYCORRHIZAL FUNGI *OIDIODENDRON MAIUS* G.L. BARRON ON *VACCINIUM MACROCARPON* AIT. PLANTS DURING 10 MONTHS OF CO-CULTIVATION**Berezina E.V.¹, Pripisnova E.S.¹, Михеев В.С.¹, Стручкова И.В.^{1,2}**¹Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia²LLC “Mikofit”, Bor, Russia**Key words:** biomass, cranberry, microfungi, pigments, phenolic compounds

ФОРМИРОВАНИЕ АЗОТФИКСИРУЮЩЕЙ РИЗОСФЕРНОЙ МИКРОФЛОРЫ И СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ОДНОДОЛЬНЫХ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НИЗКОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ АЗОТОМ**Бетехтина А.А.* , Воропаева О.В., Малахеева А.В., Малева М.Г.**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: betechtina@mail.ru**Ключевые слова:** дефицит азота, ризобактерии, *Allium cepa*, *Allium sativum*, *Triticum durum*

В условиях дефицита азота (N) небобовые растения могут создавать благоприятные условия для энергетического обеспечения реакции азотфиксации ризосферного микробиома благодаря усиленному экспорту C-соединений. Растительные партнеры, в зависимости от вида, возможно, вносят разный вклад в обеспечение ризобиома C-соединениями и при этом получают разную N-дотацию от свободноживущих азотфиксаторов. Изучено содержание фотосинтетических пигментов и количество азотфиксирующих бактерий в ризосфере *Allium cepa*, *A. sativum* и *Triticum durum* в лабораторных условиях при выращивании на малопродуктивной смеси из почвы, песка, глины и торфа (2:1:1:1, по объему), содержащей крайне низкое количество общего азота (0,09%). Минеральные удобрения вносили в дозах: N₀P₁₅ и N₂₀P₁₅ (мг/кг субстрата). Растения выращивали в вегетационных сосудах (в 3-кратной повторности для каждого варианта) в течение 70 дней. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях определяли спектрофотометрически после экстракции в 80%-ацетоне. Общее количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в субстрате определяли по количеству колоний, выросших на твердой питательной среде LB (Луриа-Бертани), после серии разбавлений. Общее количество азотфиксирующих ризобактерий измеряли путем подсчета количества колоний, выросших на твердой безазотистой среде Эшби.

Количество хлорофиллов ($a+b$) и каротиноидов в варианте без внесения азота было крайне низким и составляло, соответственно, 0,49 и 0,14 мг/г сухого веса у пшеницы, 1,61 и 0,25 мг/г сухого веса у чеснока и 2,26 и 0,42 мг/г сухого веса у лука. Однократная подкормка азотом увеличивала содержание хлорофиллов в среднем в 2,0 раза, каротиноидов – в 1,5 раза. Кроме того, добавление азота положительно влияло как на КМАФАнМ в ризосфере модельных видов, так и на количество в ней азотфиксаторов: КМАФАнМ в среднем было в 1,5 раза выше по сравнению с вариантом N₀P₁₅, и было больше у пшеницы ($4,1 \times 10^7$ КОЕ/г сух. субстрата) и лука ($2,8 \times 10^7$ КОЕ/г сух. субстрата), по сравнению с чесноком ($1,4 \times 10^7$ КОЕ/г сух. субстрата). Количество азотфиксирующих ризобактерий при добавлении азота возрастало в среднем в 3,2 раза и было также выше у пшеницы ($2,5 \times 10^7$ КОЕ/г сух. субстрата), в сравнении с другими модельными культурами. Полученные результаты свидетельствуют о прямой зависимости от содержания азота в субстрате как численности ризобактерий (в том числе и азотфиксирующих), так и содержания фотосинтетических пигментов в листьях однодольных растений, и позволяют отметить межвидовые различия у этих культур.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00248, <https://rscf.ru/project/24-26-00248/>.

FORMATION OF NITROGEN-FIXING RHIZOSPHERE MICROFLORA AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT IN MONOCOLOTED CROPS UNDER LOW NITROGEN SUPPLY**Betekhtina A.A., Voropaeva O.V., Malakheeva A.V., Maleva M.G.**

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: nitrogen deficiency, rhizobacteria, *Allium cepa*, *Allium sativum*, *Triticum durum*

ВЛИЯНИЕ ГЕНОМНОГО СОСТАВА И ПЛОИДНОСТИ ПШЕНИЦ НА КАЧЕСТВО КЛЕЙКОВИНЫ

Богомолов Д.А., Назин М.Д., Немцева В.А., Ермошин А.А. *, Киселева И.С

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: Alexander.Ermoshin@urfu.ru

Ключевые слова: пшеница, геномный состав, запасные белки, клейковина, седиментационный анализ

Род *Triticum* включает диплоидные, тетраплоидные и гексаплоидные виды, многие из которых являются аллоплоидами и произошли за счет естественной гибридизации предковых форм с видами рода *Aegilops*, и имеют субгеномы А, В, D, G. Одно из важнейших свойств муки пшеницы – способность образовывать упругое и тягучее тесто. Эти свойства обусловлены содержанием в ней глютена или клейковины. Для селекции представляет интерес предсказание свойств и количества клейковины у гибридов и сортов. Хлебопекарные свойства можно оценивать по доле запасных белков, соотношению глютелинов к проламинам и седиментации (набухаемости) клейковины. Цель работы – изучение клейковины пшениц, различающихся по плоидности и геномному составу.

Определено содержание белка и соотношение фракций запасных белков у 40 образцов пшеницы, относящихся к 15 видам, а также седиментация муки микрометодом для 31 образца. Показано, что наибольшая набухаемость характерна для вида *T. spelta*. Чуть меньшее значение получено для *T. aestivum* и *T. compactum*. Наименьший показатель у *T. monococcum*. Набухаемость клейковины гексаплоидов на 25% больше, чем у диплоидов. Тетраплоиды, что предсказуемо, имеют промежуточное значение. На качество клейковины оказало влияние добавление генома D. Тетраплоиды, имеющие в своем составе кроме генома А геномы В или G, существенно не отличались по показателю седиментации.

Сравнение химических свойства клейковины с физическими показало, что гексаплоиды содержат в 4 раза больше запасных белков в зерне, чем структурных, тогда как тетраплоиды – только в три. Необычно, что диплоиды не отличаются от гексаплоидов по данному показателю. Определение соотношения разных фракций запасных белков (глютелинов к проламинам) показало, что с ростом плоидности наблюдается слабая тенденция к увеличению доли глютелинов. Геном D оказывал положительное влияние, а геном G – отрицательное на оба этих параметра. Однако, добавление генома G положительно сказывалось на количестве белка.

Таким образом, привнесение генома D в гексаплоидные виды значительно улучшило хлебопекарные свойства пшениц. Наилучшим качеством обладает белок *T. spelta*. Приобретение генома G положительно сказалось на количестве белка, но ухудшило его фракционный состав, при этом не оказало влияния на набухаемость клейковины.

INFLUENCE OF GENOMIC COMPOSITION AND PLOIDY OF WHEAT ON THE GLUTEN QUALITY

Bogomolov D.A., Nazin M.D., Nemtseva V.A., Ermoshin A.A., Kiseleva I.S.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Keywords: gluten, wheat, sedimentation analysis, protein fractions, genome

АКВАПОНИЧЕСКОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ АЛОЭ ДРЕВОВИДНОГО (*ALÓE ARBORÉSCENS*)

Борисова С.Д. *, Медведева А.С.

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

*E-mail: Svetlana-zag@bk.ru

Ключевые слова: аквапоника, лекарственные растения, циркулярная технология, очистка воды

Опыт применения целебного потенциала растений известен человечеству с давних времен. Большой популярностью травы с лечебными свойствами пользовались на Руси. И до настоящего времени растения являются неистощимым источником биологически активных веществ, на основе которых создаются лекарственные средства. Сбор и заготовка лекарственных растений – это перспективная, экономически и социально значимая отрасль, у которой есть большой рыночный потенциал. Однако существует ряд проблемных вопросов, сдерживающих лекарственное растениеводство. Это как общие проблемы законодательного и организационного характера, так и сезонность сбора и заготовки лекарственных растений; недоступность некоторых видов из-за особенностей произрастания; неблагоприятные погодные условия в течение вегетативного сезона и т.д. Тем не менее активно растущий спрос на качественное лекарственное растительное сырье открывает большие перспективы для развития отрасли.

Аквапоническое выращивание растений – это совместное выращивание рыбы и растений, т.е. комбинация двух методов: аквакультуры и гидропоники. В аквапонике питательной средой выступает вода с продуктами жизнедеятельности рыб, в то время как в гидропонных системах в аналогичной роли выступает специальный питательный раствор, требующий регулярного обновления и добавления питательных веществ.

Нами был проведен анализ влаголюбивых лекарственных растений: багульник болотный, росянка круглолистная, череда трехраздельная, валериана лекарственная, горец змеиный, горец почечуйный, сушеница топяная, брусника обыкновенная, голубика, калужница болотная, клюква четырехлепестная, ирис болотный, лапчатка прямостоячая, монарда, подбел многолистный. Анализ условий выращивания вышеназванных растений показал, что их успешно можно культивировать в аквапонических установках, но при выборе лекарственных растений для выращивания в аквапонике необходимо учитывать: вид рыбы, температуру, pH, освещение и химический состав воды.

Экспериментальное выращивание алоэ древовидного в аквапонике показало, что данный метод позволяет быстро получать укорененные побеги алоэ древовидного, при этом более длительное выращивание в аквапонике нецелесообразно. Более взрослое растение имеет тонкий стебель и не мясистые листья. Следует отметить, что суккуленты имеют эволюционно приобретенное высокое осмотическое давление в длинных корнях чтобы добывать воду в естественных условиях. Поэтому в аквапонике они не боятся колебаний концентрации солей.

Выращивание лекарственных растений в аквапонике позволяет круглогодично выращивать лекарственные растения, сократить финансовые затраты на их сбор, защитить растения от сорняков и вредителей, еще больше приобщить население к использованию в жизнедеятельности натуральных природных средств.

AQUAPONIC CULTIVATION OF *ALÓE ARBORÉSCENS*

Borisova S.D., Medvedeva A.S.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Key words: aquaponics, medicinal plants, circular technology, water purification

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНОСТИ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ КУЛЬТУРАМИ КАЛЛУСНЫХ И СУСПЕНЗИОННЫХ КЛЕТОК ВЕРЕСКОВЫХ РАСТЕНИЙ

Брилкина А.А.* , Рыбин Д.А., Сухова А.А., Сёмин А.А., Березина Е.В.

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

*E-mail: annbril@mail.ru

Ключевые слова: голубика, брусника, клюква, флаваны, проантоцианидины

Фенольные соединения растительного происхождения являются важными для человека биологически активными веществами с широким кругом активности. Голубика щитковая (*Vaccinium corymbosum* L.), клюква крупноплодная (*V. macrocarpon* Ait.), брусника (*V. vitis-idaea* L.) обладают способностью активно синтезировать и накапливать большое количество фенольных соединений. Культуры каллусных и суспензионных клеток этих растений могут являться перспективными источниками для производства биофенолов. Для подтверждения данной гипотезы проведен сравнительный анализ содержания фенольных соединений в культурах каллусных и суспензионных клеток голубики, клюквы и брусники.

Каллусы получали из листьев и ягод растений на аризованных питательных средах WPM и Андерсона, дополненных 2,4-Д и БАП (от 3,4 до $67,5 \cdot 10^{-7}$ моль/л). Суспензионные клетки инициировали из каллусов, перенося их в жидкие питательные среды того же состава. Длительность пассажа составляла 28-30 дней. Для полученных культур анализировали сырую и сухую массу, содержание суммарного содержания растворимых фенольных соединений, флавоноидов, флаванов и проантоцианидинов.

В фенольном комплексе листьев используемых нами растений большую часть составляют флавоноиды, в том числе флаваны, а также проантоцианидины. В ягодах представленность флавоноидов меньше. Наиболее богаты фенольными соединениями листья и ягоды брусники (до 310 и 180 мг/г сух.м. соответственно). Для полученных каллусных культур данная закономерность сохраняется, максимальным накоплением фенольных соединений характеризуются каллусы брусники – до 200 мг/г сух.м. Важной особенностью полученных культур является то, что стадии экспоненциального и линейного роста сопровождаются наибольшим накоплением фенольных соединений, в стационарной фазе их содержание падает. Культуры брусники продуктивнее в присутствии 2,4-Д и БАП $22,5-67,5 \cdot 10^{-7}$ моль/л, в то время как культуры голубики щитковой – $3,4-34 \cdot 10^{-7}$ моль/л. Если для каллусов продукция фенольных соединений в ряду пассажей не стабильна, то для суспензионных клеток высокое содержание фенольных соединений сохраняется как минимум до 12 пассажа, что свидетельствует об их перспективности для промышленного получения данных биологически активных веществ.

Работа поддержана грантом РФФ 23-24-00403.

COMPARATIVE ANALYSIS OF PHENOLIC COMPOUNDS PRODUCTION IN CALLUS AND SUSPENSION CULTURES OF VACCINIUM SP. PLANTS

Brilkina A.A., Rybin D.A., Sukhova A.A., Syomin A.A., Berezina E.V.

Lobachevsky University, Nizhny Novgorod, Russia

Key words: blueberries, lingonberries, cranberries, flavans, proanthocyanidins

РЕЦЕПТОРНАЯ СИСТЕМА FLS2-BAK1 ОПРЕДЕЛЯЕТ УСПЕШНОСТЬ БАКТЕРИАЛЬНОЙ КОЛОНИЗАЦИИ РАСТЕНИЙ

Бурыгин Г.Л.^{1,2*}, Фадеева Ю.В.¹, Кусмарцева Ю.А.², Матора Л.Ю.¹, Щеголев С.Ю.¹

¹Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов,
ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия

²ФГОУ ВО Вавиловский университет, Саратов, Россия

*E-mail: buryingl@gmail.com

Ключевые слова: ко-рецептор BAK1, молекулярное моделирование, растительно-микробные взаимодействия, рецептор FLS2, флагеллин

В условиях изменяющегося климата растения всё чаще сталкиваются с такими абиотическими стрессовыми факторами, как повышенная температура, засуха и засоленность. Взаимодействие с рост-стимулирующими ризобактериями существенно повышает адаптационный потенциал растений к неблагоприятным условиям среды. Растения строго контролируют взаимодействия с бактериями, препятствуя проникновению фитопатогенов и ограничивая размножение эндофитов. Одной из важнейших систем распознавания бактерий у высших растений служит рецептор FLS2, высокоспецифично взаимодействующий с консервативным мотивом flg22 в составе бактериальных жгутиков и при участии ко-рецептора BAK1 активирующий реакции фитоиммунитета. В данной работе было проведено моделирование взаимодействий рецепторной системы FLS2-BAK1 растений с флагеллинами патогенных и рост-стимулирующих ризобактерий в сопоставлении с экспериментальными результатами активации элиситорами фитоиммунных реакций.

С использованием базы данных GenBank в референсных геномах растений разных видов были выявлены гомологи белков FLS2 и BAK1, описанных ранее для *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. Для моделирования работы рецепторной системы были использованы домены FLS2 и BAK1, непосредственно взаимодействующие с бактериальными флагеллинами. Для FLS2 учтено его N-гликозилирование с помощью ресурса MusiteDeer. В качестве лигандов были использованы пептиды flg22 и N-концевые фрагменты флагеллинов *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 700888 (патоген), *Pectobacterium atrosepticum* SCRI1043 (фитопатоген) и *Azospirillum brasilense* Sp7 (рост-стимулятор). Моделирование взаимодействий белков и пептидов проводили с помощью онлайн ресурса AlphaFold 3. Результаты моделирования показали высокую консервативность строения и функционирования рецепторной системы FLS2-BAK1 у высших растений. Наиболее эффективное связывание рецепторов с лигандами, и, соответственно, запуск фитоиммунных реакций, предсказано для пептидов и флагеллинов (фито)патогенных бактерий. Особенности аминокислотного состава flg22 азоспирилл существенно влияют на сродство их флагеллинов к FLS2 и BAK1, что коррелирует с полученными экспериментальными данными о слабых ответных реакциях растений на флагеллины ассоциативных бактерий семейства *Azospirillaceae*. Таким образом, различия во взаимодействиях бактериальных флагеллинов с FLS2 и BAK1 во многом определяют развитие фитоиммунитета при бактериальной колонизации растений.

FLS2-BAK1 RECEPTOR SYSTEM DETERMINES THE SUCCESS OF BACTERIAL COLONIZATION OF PLANTS

Burygin G.L.^{1,2}, Fadeeva Yu.V.¹, Kusmartseva J.A.², Matora L.Yu.¹, Shchyogolev S.Yu.¹

¹Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms,

FSC "Saratov Science Center RAS", Saratov, Russia

²Vavilov University, Saratov, Russia

Key words: co-receptor BAK1, flagellin, molecular docking, plant-microbe interaction, receptor FLS2

НАНОПРАЙМИНГ АКТИВИРУЕТ МЕТАБОЛИЗМ РАСТЕНИЙ И УВЕЛИЧИВАЕТ ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ К ХОЛОДУ

**Венжик Ю.В.* , Дерябин А.Н., Нарайкина Н.В.,
Жукова К.В., Успенская М.Г., Кочетков И.М.**

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

*E-mail: jul.venzhik@gmail.com

Ключевые слова: нанопрайминг, наночастицы золота, пшеница, томат, холодоустойчивость

В последние годы в физиологии растений активно используются коллоидные растворы металлических наночастиц, способных влиять практически на все процессы в растительном организме. Нанопрайминг (замачивание семян в растворах наночастиц) считается экономически эффективным и экологически щадящим способом обработки растений. В задачи данного исследования входило изучение влияния нанопрайминга на интенсивность роста, активность фотосинтетического аппарата и антиоксидантной системы, а также устойчивость к низким температурам у пшеницы и томата – двух важных сельскохозяйственных культур, отличающихся по чувствительности к холоду.

Опыты проводили на 2–3 недельных растениях пшеницы (с. Злата) и томата (с. Кулон), выращенных в камерах искусственного климата в контролируемых условиях среды. Перед посадкой семена 24 ч выдерживали в растворе золотых наночастиц (ЗНЧ) с концентрацией 10–20 мкг/мл (средний диаметр ЗНЧ 15 нм). Основные эффекты ЗНЧ на растения изучали по стандартным методикам.

Показано, что нанопрайминг изменял метаболизм пшеницы и томата. В частности, у обработанных ЗНЧ растений пшеницы были усилены интенсивность роста и фотосинтеза, увеличено содержание фотосинтетических пигментов и сахаров в листьях. У томата нанопрайминг приводил к увеличению содержания хлорофиллов и каротиноидов, а также усилению активности гваякол-зависимой пероксидазы и каталазы в листьях. При этом в надземных частях растений, выращенных из семян, обработанных ЗНЧ, количество золота было следовым или оно отсутствовало. Впервые показан эффект нанопрайминга на уровень холодоустойчивости, которая увеличивалась в несколько раз, как у пшеницы, так и у томата.

Таким образом, нанопрайминг стимулирует метаболизм растений, а также приводит к формированию у них адаптивных реакций, позволяющих переживать действие неблагоприятных низких температур. Из семян, обработанных в технике нанопрайминга, вырастают растения с усиленным ростом и фотосинтезом, увеличенной активностью антиоксидантных ферментов, повышенным содержанием в листьях веществ, обладающих криопротекторными свойствами. Следовательно, нанопрайминг может быть использован как стратегия, позволяющая не только активировать метаболизм растений, но и влиять на их адаптивный потенциал.

Благодарности. Авторы благодарят д.б.н., в.н.с. ИБФРМ СаpНЦ РАН Л.А. Дыкмана за предоставление коллоидных растворов золотых наночастиц.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 23-26-00054, <https://rscf.ru/project/23-26-00054/>.

NANOPRIMING ACTIVATES METABOLISM AND INCREASES PLANT COLD TOLERANCE

**Venzhik Yu.V., Deryabin A.N., Naraikina N.V.,
Zhukova K.V., Uspenskaya M.G., Kochetkov I.M.**

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: nanoprimering, gold nanoparticles, wheat, tomato, cold tolerance

**РОЛЬ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ В РЕГУЛЯЦИИ МЕТАБОЛИЗМА
АНТИОКСИДАНТОВ КАЛЛУСНОЙ КУЛЬТУРЫ *SAUSSUREA ORGAADAYI*****Головацкая И.Ф.* , Матвейкина Д.А., Медведева Ю.В., Большакова М.А., Лаптев Н.И.**

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

E-mail: golovatskaya.irina@mail.ru*Ключевые слова:** антиоксиданты, каллус, салициловая кислота, *Saussurea orgaadayi*, перекисное окисление липидов

Известно, что гормональная система осуществляет регуляцию и координацию всех процессов в интактном растении. Труднее оценить опосредованную гормонами согласованность функционирования изначально асинхронно растущих клеток каллусной культуры. Целью исследования было изучение роли салициловой кислоты (СК) в регуляции метаболических процессов у клеточных культур *S. orgaadayi*, полученных от разных эксплантов.

Показаны различия ростового потенциала и физиологического состояния гипокотильной (ГЛ) и семядольной (СЛ) линий каллусной культуры горькуши. Каллус ГЛ отличался более интенсивным приростом объема клеток и биомассы по сравнению с каллусом СЛ. В качестве возможных причин высокой скорости роста культуры ГЛ можно отметить большую проницаемость мембран, обводненность клеток и низкий уровень перекисного окисления липидов. Не менее важными показателями, обуславливающими разное физиологическое состояние каллусных тканей, являются уровни низкомолекулярных (пролин и флавоноиды – Фл) и высокомолекулярных (ферменты) антиоксидантов. У быстро растущей ГЛ на фоне низкой интенсивности ПОЛ отмечалось низкое суммарное содержание Фл и низкая активность каталазы по сравнению с медленно растущей СЛ. Добавление в МС-среду 10 мкМ СК увеличивало прирост биомассы ГЛ культуры. Однако в противоположность ГЛ, СК тормозила прирост биомассы СЛ. Ускоренный рост ГЛ сопровождался увеличением количества растущих (вытянутых) клеток относительно количества клеток СЛ. Несмотря на то, что экзогенная СК синхронизировала рост клеток растяжением у обеих линий, наблюдаемые различия объема клеток определялись их стартовым состоянием в момент действия СК. У ГЛ отмечен стимулирующий эффект СК на суммарное содержание Фл на 35 сутки, тогда как у СЛ отмечен ингибирующий эффект СК на этот показатель. ВЭЖХ-анализ уровня трех Фл установил, что СК у ГЛ повышала содержание дигидрокверцетина в 4,4 раза относительно контроля, тогда как у СЛ снижала его уровень. Содержание рутина и кверцетина у обеих линий культур было низким. Таким образом, установлена зависимость действия СК на процессы в тканях у двух линий каллусной культуры *S. orgaadayi* от их стартового физиологического состояния. СК изменяла окислительный статус клеток и уровень антиоксидантов.

*Работа выполнена при поддержке Программы развития ТГУ (Приоритет 2030).***THE ROLE OF SALICYLIC ACID IN THE REGULATION OF ANTIOXIDANT
METABOLISM IN THE CALLUS CULTURE *SAUSSUREA ORGAADAYI*****Golovatskaya I.F.* , Matveikina D.A., Medvedeva Yu.V., Bolshakova M.A., Laptev N.I.**

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Key words: antioxidants, callus, lipid peroxidation, salicylic acid, *Saussurea orgaadayi*

МИКРОГРИНЫ РАСТЕНИЙ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕТОДАМИ ФИТОБИОТЕХНОЛОГИИ (НА ПРИМЕРЕ *LINUM USITATISSIMUM* L.)

Гончарук Е.А. *, Казанцева В.В., Загоскина Н.В.

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

*E-mail: goncharuk.ewgenia@yandex.ru

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., микрогрины, фитобиотехнология

В настоящее время микрогрины (молодые проростки) растений, обогащенные биологически активными соединениями (БАВ), необходимыми для пищевого рациона человека, вызывают большой интерес как у исследователей различных биологических направлений (физиологов, биохимиков, биотехнологов), так и у практиков (фармакологов, нутрициологов, производителей). Согласно концепции их получения, ценность этих культур максимальна в период формирования семядольных листьев и первого настоящего листа. В этот период у микрогринов высок уровень доступных углеводов, олиго- и моносахаридов, свободных жирных кислот, соединений с высокой антиоксидантной активностью.

В настоящее время разрабатываются комплексные программы фитобиотехнологии по их получению и выращиванию, направленные на повышение адаптогенности, жизнеспособности, питательной ценности, обогащение ценными биоактивными соединениями. Они включают варьирование содержанием и составом питательной среды, используемой при выращивании микрогринов, фотопериодом, экзометаболитами, что воздействует на кинетику роста, накопление биомассы и физиолого-биохимические процессы, включая содержание пигментов, функционирование ферментного комплекса и биосинтез БАВ, в том числе фенольных биоантиоксидантов (ФБ). Используют и методы генной инженерии, изменяют свойства биомолекул, что улучшает характеристики получаемого продукта, в частности, сохранность и свежесть.

К числу перспективных культур для получения микрогринов относится *Linum usitatissimum* L., благодаря его высокой питательной и нутрицевтической ценности. Растения льна отличаются высоким содержанием поли- и умеренным содержанием мононенасыщенных жирных кислот, пищевых волокон, каротиноидов и производных витамина Е. Для них характерна выраженная способностью к образованию ФБ, таких как *n*-гидроксibenзойная, хлорогеновая, феруловая и *n*-кумаровая кислоты, а также лигнанов – ценных метаболитов с высокой антиканцерогенной, цитотоксической и противовирусной активностью. Выращивание микрогринов льна на питательных средах различного состава позволило повысить его продуктивность, содержание микроэлементов, водорастворимых белков, свободных аминокислот, флавоноидов и увеличить антиоксидантную активность. Применение различных подходов фитобиотехнологии позволяет улучшить продуктивность и нутрицевтические качества микрогринов *L. usitatissimum*, что имеет важное прикладное значение.

PLANT MICROGREENS AS ONE OF THE DIRECTIONS FOR OBTAINING BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS BY PHYTOBIOTECHNOLOGY METHODS (ON THE EXAMPLE OF *LINUM USITATISSIMUM* L.)

Goncharuk E.A., Kazantseva V.V., Zagoskina N.V.

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: *Linum usitatissimum* L., microgreens, phytobiotechnology

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ДИЗАЙНУ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ЭКСПРЕССИИ ЦЕЛЕВЫХ БЕЛКОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Демьянчук И.С.^{1*}, Павленко О.С.¹, Тюрин А.А.¹,
Мустафаев О.², Голденкова-Павлова И.В.¹

¹Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

²Институт генетических ресурсов Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

*E-mail: Ilya.Demyanchuk.2000@yandex.ru

Ключевые слова: интерферон- α A, растения, стабильность белков, эффективность экспрессии

Обширная сеть механизмов реализации генетической информации, осуществляющая процесс декодирования генома растений в протеом, ставит перед исследователем задачи по разработке новых и совершенствованию известных стратегий, направленных как на повышение накопления рекомбинантных белков, так и их очистки из растений. Решение данных задач имеет практическую перспективу в вопросах получения полипептидов, имеющих фармацевтическое значение, и в особенности тех, природный источник которых сильно ограничен.

В данном исследовании представлены основные подходы увеличения накопления рекомбинантного белка в растительных системах. Основываясь на результатах *in silico* анализа, была определена последовательность 5'-НТО, способная обеспечить высокоэффективную трансляцию транскрипта целевого белка в растениях (в нашем случае интерферона- α A). Также была получена нуклеотидная последовательность целевого гена интерферона- α A, кодоновый состав которого был оптимизирован относительно распределения кодонов в общем пуле генов *A. thaliana*. Применение данных подходов продемонстрировало увеличение содержания гибридного белка в растениях (на примере *N. benthamiana*).

Процесс повышения стабильности и как следствие накопления белкового продукта осуществлялся благодаря анализу вклада N-концевого аминокислотного остатка в стабильность белка согласно правилу «N-конца», а также за счет применения белок-стабилизирующего партнера, на примере термостабильной лихеназы *Clostridium thermocellum*. Замена триплета, кодирующего стабилизирующий аминокислотный остаток во второй позиции (Gly), кодоном, соответствующим дестабилизирующей аминокислоте (Arg), снизила выход гибридного белка. Кроме того, достоверно продемонстрировано, что термостабильная лихеназа в качестве партнера, стабилизирующего белок, не только не оказывает отрицательного влияния на активность белка-мишени (интерферона- α A), интегрированного в его последовательность, но и усиливает накопление целевого белкового продукта в клетках растений. Вместе с тем лихеназа сохраняет биологическую активность интерферона после инкубации лизатов растительных белков при 65°C и осаждения нецелевых белков этанолом, что применимо для быстрой и недорогой очистки слитых белков.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700043-9).

NEW APPROACHES TO THE DESIGN OF EFFECTIVE TARGET PROTEIN EXPRESSION SYSTEMS IN PLANT SYSTEMS

Demyanchuk I.S.¹, Pavlenko O.S.¹, Tyurin A.A.¹,
Mustafaev O.², Goldenkova-Pavlova I.V.¹

¹ Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Genetic Resources Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Key words: expression efficiency, interferon- α A, plants, protein stability

СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ АСТРАГАЛОВ УРАЛА

Ермошин А.А. *, Королева Е.С., Радомский Я.С., Тептина А.Ю., Киселева И.С.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: Alexander.Ermoshin@urfu.ru

Ключевые слова: астрагал, антиоксидантная активность, фенольные соединения

Бобовые – одно из крупнейших эволюционно продвинутых семейств Евразии. Среди видов этого семейства известны лекарственные растения: солодка голая, донник лекарственный, термопсис ланцетный. В народной медицине используют астрагалы: в Китае *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge (астрагал перепончатый), а в Европе – *A. dasyanthus* Pall. (астрагал шерстистоцветковый). Эти виды не встречаются на Урале, поэтому цель нашей работы – изучить химический состав и *in vitro* антиоксидантную активность 4 видов астрагалов юга Свердловской области.

Изучены *A. falcatus* Lam. (астрагал серпоплоидный, упоминается в справочнике Vidal как компонент комбинированной фитотерапии при почечной недостаточности, улучшает азотный обмен), *A. cicer* L. (астрагал нутовый, не упоминается в научной медицине, используется как кормовая культура), *A. danicus* Retz. (астрагал датский, широко распространен на Урале, есть отдельные упоминания в народной медицине), *A. onobrychis* L. (астрагал эспарцетовый, не упоминается в народной медицине). Растения собирали в августе после цветения в окрестностях гг. Екатеринбург и Каменск-Уральский. В спиртовых экстрактах определяли содержание суммы фенольных соединений и антирадикальную активность в ABTS-тесте.

Наибольшее содержание фенольных соединений показано для *A. falcatus* (9,6 мг/г сухой массы), наименьшее – для *A. onobrychis* (3,5 мг/г). Астрагал нутовый незначительно уступает в содержании фенольных соединений астрагалу серпоплоидному. Антирадикальная активность в ABTS-тесте была 50% у экстракта *A. cicer*, тогда как у официального вида *A. falcatus* и двух других видов всего 30%. Антибактериальную активность экстрактов определяли в тесте с *E. coli*. Только экстракт из *A. cicer* проявил такую активность.

Таким образом, можно заключить, что экстракт *A. cicer* имеет высокую биологическую активность и может быть перспективен для дальнейшего исследования и создания препаратов БАВ. Данный вид существенно не отличается по содержанию фенольных соединений от официального, при этом имеет большую антирадикальную активность и проявляет антибактериальные свойства. Этот вид не токсичен, о чем свидетельствует его использование в качестве кормовой культуры. Исследование расширяет возможную область применения травы астрагала нутового.

PHENOLIC COMPOUNDS CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SOME ASTRAGALUS SPECIES FROM THE URALS

Ermoshin A.A., Koroleva E.S., Radomskiy Ya.S., Teptina A.Yu., Kiseleva I.S.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Keywords: astragalus, antioxidant activity, phenolic compounds

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МИТОТИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ ОТ ГАПЛОИДНОГО СОДЕРЖАНИЯ ДНК И ОТ ПЛОИДНОСТИ**Жуковская Н.В., Лунькова Н.Ф., Быстрова Е.И., Иванов В.Б.***

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

E-mail: ivanov_vb@mail.ru*Ключевые слова:** митотический цикл, плоидность, гаплоидное содержание ДНК

Количество полного набора хромосом в ядре клетки (одноклеточного или многоклеточного организма) определяет плоидность, а изменение числа хромосом, их увеличение – полиплоидию. Анализируется зависимость продолжительности митотического цикла от плоидности для видов покрытосеменных. У тетраплоидов гаплоидное содержание ДНК было примерно в полтора больше по сравнению с диплоидами, что свидетельствует о редукции части генома при полиплоидизации (Leitsh, Bennett, 2004). Однако у небольшого числа изученных гексаплоидов и октоплоидов величина гаплоидного содержания ДНК возрастала с увеличением плоидности прямо пропорционально. Среднее содержание ДНК в хромосоме было наименьшим у тетраплоидов, однако отличалось у растений с разной плоидностью почти в пределах достоверности. С увеличением гаплоидного содержания ДНК продолжительность митотических циклов возрастает у диплоидов. Продолжительность митотических циклов, определенная двумя методами, которые дали одинаковые результаты, слабо увеличивалась с увеличением плоидности. Следовательно, полиплоидизация не ведет к существенному изменению длительности митотического цикла. Однако резкость изменения продолжительности митотических циклов отличается при разных методах. Причины этого будут рассмотрены в докладе.

Для дальнейшего анализа этой проблемы представляет интерес проанализировать, как продолжительность митотического цикла зависит от числа хромосом, которое возрастает при полиплоидизации. Ранее этот вопрос не разбирался.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700044-6).

DEPENDENCE OF MITOTIC CYCLE TIME FROM HAPLOID DNA CONTENT AND PLOIDY**Zhukovskaya N.V., Lunkova N.F., Bystrova E.I., Ivanov V.B.**

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: mitotic cycle time, ploidy, haploid DNA content

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНОФОРНЫХ ПОКРЫТИЙ УЛУЧШАЕТ РОСТ РАСТЕНИЙ ГОРЧИЦЫ САРЕПТСКОЙ *BRASSICA JUNCEA* L., КОЛОНИЗИРОВАННЫХ АССОЦИАТИВНЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ

Захарченко Н.С.^{1*}, Рукавцова Е.Б.¹, Пунтус И.Ф.², Филонов А.Е.², Звонарев А.Н.², Терентьев В.В.³, Ариповский А.В.⁴, Храмов Р.Н.⁵

¹Филиал ГНЦ Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Пушкино, Россия

²Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН, Пушкино, Россия

³Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пушкино, Россия

⁴НПК «А-БИО», Пушкино, Россия

⁵Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН Пушкино, Россия

*E-mail: zachar@bibch.ru

Ключевые слова: *Brassica juncea* L., *Pseudomonas putida* КТ 2442, *Rhodococcus erythropolis* X5, колонизация растений ассоциативными микроорганизмами, фотолюминофорные покрытия

Исследовано влияние укрывного материала с органическим фотолюминофором (ФЛ) на рост и развитие растений горчицы сарептской *Brassica juncea* L., колонизированных полезными ассоциативными микроорганизмами *Pseudomonas putida* КТ2442 и *Rhodococcus erythropolis* X5, *in vitro* и *in vivo*. Показано, что совместное использование микробной колонизации и фотолюминофорного покрытия (ФЛП) приводило к стимуляции роста растений значительно сильнее (в 2,1 раза), чем использование по отдельности ФЛП (в 1,2 раза) или колонизации (в 1,8 раз). В листьях растений, выращенных под ФЛП, содержание глюкозы и фруктозы было выше, по сравнению с растениями, растущими без ФЛП, на 32 и 66%, соответственно. Показано увеличение веса (в 1,9 раз) и количества семян (в 1,6 раз), собранных с растений, колонизированных полезными бактериями и выращенными под ФЛП. Обнаружено стимулирующее влияние ФЛП на фотосинтетические параметры фотосистемы 2 у колонизированных растений, растущих *in vitro*. Впервые показано, что достаточно 4-х недель нахождения растений под ФЛП, чтобы в дальнейшем, выращивая без ФЛП, получить более высокую урожайность. Таким образом, при использовании для растений ФЛП, преобразующих в красный свет более коротковолновое излучение, может индуцировать усиление биохимических процессов не только у растений, но и у микроорганизмов, которые снабжают растения регуляторами роста и другими активными соединениями. Полученные нами данные указывают на широкие перспективы для дальнейшего изучения механизмов фотобиологических и фоторегуляторных систем во взаимодействии микроорганизмов и растений.

THE USE OF PHOTOLUMINOPHORE COATINGS IMPROVES THE GROWTH OF SAREPTA MUSTARD *BRASSICA JUNCEA* L. PLANTS COLONIZED WITH ASSOCIATIVE MICROORGANISMS

Zakharchenko N.S.¹, Rukavtsova E.B.¹, Puntus I.F.², Filonov A.E.², Zvonarev A.N.², Terentyev V.V.³, Aripovsky A.V.⁴, Khramov R.N.⁵

¹The Branch of Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry RAS, Pushchino, Russia

²G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms RAS, Pushchino, Russia

³Institute of Fundamental Problems of Biology RAS, Pushchino, Russia

⁴R&D and Manufacturing Company 'A-BIO', Pushchino, Russia

⁵Institute of Theoretical and Experimental Biophysics RAS, Pushchino, Russia

Key words: *Brassica juncea* L., *Pseudomonas putida* КТ2442, *Rhodococcus erythropolis* X5, colonization of plants by associative microorganisms, photoluminophore coatings

МИКРОПОБЕГИ РОДОДЕНДРОНОВ: ФИТОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ

Катанская В.М.^{1*}, Храмова Е.П.², Костикова В.А.²,
Васильева О.Г.³, Сажина Н.Н.⁴, Загоскина Н.В.¹

¹Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

²Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

³Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

⁴Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

*E-mail: vera@katanski.com

Ключевые слова: антиоксидантная активность, культуры *in vitro*, рододендроны, флавоноиды

Изменение экологии и риск значительных техногенных воздействий на растительные сообщества приводит к необходимости использования методов фитобиотехнологии, в том числе *in vitro* культур, в качестве продуцентов высокоэффективных антиоксидантов фенольной природы, применяемых в медицине и фармакологии. К их числу относятся микропобеги рододендронов, сохраняющие в условиях *in vitro* способность к образованию широкого спектра фенольных соединений (ФС), таких как оксibenзойные кислоты, фенилпропаноиды, флавоноиды. Микропобеги рододендронов (*R. smirnowii*, *R. PGM Elite* и *R. japonicum*) получали путем прямого морфогенеза, индуцированного 2-изопентиладенином, и культивировали на модифицированной питательной среде Андерсона при 16-час. фотопериоде. ФС извлекали из растительного материала 70%-ным этанолом и анализировали методом ВЭЖХ. В экстрактах микропобегов *R. smirnowii*, *R. PGM Elite* и *R. japonicum* присутствовало от 15 до 20 ФС, суммарное содержание которых составляло 9,14, 7,75 и 12,75 мг/г сух. веса, соответственно. Среди них доминировали флавоноиды, преимущественно, С3-моногликозиды флавонолов. Отмечено высокое содержание гликозидов кверцетина, значительно ниже – гликозидов кемпферола, а производные мирицетина присутствовали только в экстрактах *R. japonicum* и *R. PJM Elite* в очень низких, либо следовых количествах. Выявлен ряд межвидовых различий в составе индивидуальных ФС. Так, у *R. japonicum*, преобладали кверцитрин, никотифлорин и авикулярин, у *R. smirnowii* – кверцитрин и гиперозид, у *R. PJM Elite* – кверцитрин и изокверцитрин. Во всех образцах обнаружен флаван – эпикатехин, а также флаванол – таксифолин. Наибольшее их накопление отмечалось в микропобегах *R. PJM Elite* и составляло около 40% от суммы ФС. Определение антирадикальной активности этанольных экстрактов в отношении стабильного хромоген-радикала ДФПГ показало ее увеличение в ряду *R. smirnowii* < *R. PJM Group* < *R. japonicum* и составляло 0,47, 0,55 и 0,67 мкмольТг/мг, соответственно. В системе иницированного окисления липосом фосфатидилхолина наибольшую антиоксидантную активность проявляли экстракты *Rh. japonicum* и *R. smirnowii*. Все это свидетельствует о возможности использования микропобегов рододендронов в качестве потенциальных фармакологически ценных продуцентов растительных биоантиоксидантов фенольной природы.

RHODODENDRON MICROSHOOTS: PHYTOCHEMICAL PROFILE AND ANTIOXIDANT ACTIVITY

Katanskaya V.M.¹, Khramova E.P.², Kostikova V.A.²,
Vasileva O.G.³, Sazina N.N.⁴, Zagoskina N.V.¹

¹K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

²Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

³Tsitsin Main Botanical Garden RAS, Moscow, Russia

⁴Emanuel Institute of Biochemical Physics RAS, Moscow, Russia

Key words: antioxidant activity, *in vitro* culture, rhododendron, flavonoids

**ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТОРОВ ЦИТОКИНИНА НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ
КАРТОФЕЛЯ (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТКА ВЛАГИ****Колачевская О.О.* , Мякушина Ю.А., Синькевич И.А., Ломин С.Н., Романов Г.А.**

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

E-mail: vatrushbox@mail.ru*Ключевые слова:** антисмысловая РНК (RNAi), рецепторы, транспирация, цитокинины

Картофель – одна из важнейших с/х и технических культур, и в связи с глобальными климатическими изменениями важно найти способы поддерживать достаточную урожайность клубней при экстенсивном землепользовании в условиях недостатка воды. Мы показали на трёх отечественных сортах, что оптимальная для роста растений и образования клубней влажность почвы находится в диапазоне 40–50%, отклонения в любую сторону снижают урожай. В дальнейшей работе мы использовали 50% влажность почвы как оптимальную, а 20% как неблагоприятную. Масса надземных побегов и образующихся клубней в условиях недостатка воды снижалась в среднем на 20–25%. В то же время, значение осмотического потенциала клеточного сока и относительное содержание воды в листьях не обнаруживали значимой разницы с оптимизированным контролем.

Регуляция водного обмена в растении обеспечивается за счет транспирации, которая во многом связана с цитокининовым сигналингом. В нашей модели умеренной засухи транспирация снижалась на 30–50% относительно контроля. Для оценки возможности влияния на устойчивость растений к засухе были получены трансформированные линии картофеля с экспрессируемыми антисмысловыми вставками в виде RNAi к генам рецепторов цитокининов StHK2,3,4; эти линии были проверены на способность расти и давать урожай клубней в условиях недостатка воды.

В последующей работе из полученных линий картофеля каждого сорта было отобрано по 3 независимых трансформанта с низким уровнем экспрессии упомянутых выше генов. Растения StHK2-RNAi отличались от контрольных более ранней потерей листьев, но не урожаем клубней. Растения с пониженным содержанием рецептора StHK3 показали впечатляющие результаты: четыре линии из шести не уступали контролю в оптимальных условиях и превосходили его при умеренной засухе, не снижая урожайности. При этом также отмечалось сокращение жизненного цикла растений, проявившееся в более раннем пожелтении и опадении листьев по сравнению с контролем. Растения StHK4-RNAi, несмотря на наибольшее снижение уровня экспрессии рецептора, отличались от контроля менее существенно, чем можно было бы ожидать. Эти линии отличались наиболее мощным ростом, превосходя контроль на 10–45% и в засушливых, и в оптимальных условиях, однако биомасса надземных побегов, как и клубней, в лучшем случае не уступала контролю, не более. Таким образом, получено ещё одно доказательство различия влияния разных рецепторов цитокинина на физиологические процессы в растениях и обнаружен перспективный подход к созданию новых устойчивых к засухе сортов картофеля.

*Работа поддержана РФФ, грант № 22-14-00259.***INFLUENCE OF CYTOKININ RECEPTORS ON THE DEVELOPMENT OF POTATO
PLANTS (*SOLANUM TUBEROSUM* L.) UNDER DROUGHT CONDITIONS.****Kolachevskaya O.O., Myakushina Y.A., Sinkevich I.A., Lomin S.N., Romanov G.A.**

Timiryazev Institute of Plant Physiology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Key words: RNAi, receptors, transpiration, cytokinins

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МАССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА ЛИНИЙ КОМПОНЕНТОВ ГИБРИДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ *IN VITRO* ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ

Колесникова Е.О.*, Донских Е.И., Бердников Р.В.

Селекционно-генетический центр ООО «СоюзСемСвекла»,
пос. ВНИИСС, Рамонский район, Воронежская область, Россия

*E-mail: kolesnikovaeo@souzsemsvekla.ru

Ключевые слова: микроклонирование, разработка, сахарная свекла, *in vitro*

Важное направление фитобиотехнологии – размножение растений *in vitro*, которое может применяться для массового получения и сохранения ценных растений. Сахарная свекла (*Beta vulgaris* L.) является одной из важнейших сельскохозяйственных культур нашей страны. Внедрение фитобиотехнологии в селекцию данной культуры необходимо для интенсификации процесса создания отечественных гибридов. Микроклонирование позволяет получать растения, по генотипу и фенотипу полностью соответствующие исходному растению. Следовательно, данный подход актуально применять для получения выравненных линий различных селекционных форм *Beta vulgaris*. Эффективность размножения *in vitro* зависит от совокупности многих факторов, таких как вид, фаза развития растения, условия *in vitro* и т.д. Для каждой культуры, а иногда, как в случае с сахарной свеклой, для разных селекционных форм, необходимо отработать параметры, обеспечивающие максимально возможный выход микроклонов и конечного продукта данного процесса – корнеплодов выравненных линий.

Целью настоящих исследований являлась разработка технологии микроклонирования ценных генотипов сахарной свеклы *in vitro* для применения в селекционном процессе.

Объектами исследования являлись 12 генотипов *Beta vulgaris* трех селекционных форм. В качестве эксплантов использовали верхние части цветоносных побегов растений. Стерилизация материала проводилась хлорсодержащими растворами. В работе было испытано 38 вариантов питательных сред по прописи Мурасиге-Скуга (MS) и Гамборга (B5).

Полевые условия накладывают значительную бактериальную нагрузку на растения, что создает сложности при введении *in vitro*. В ходе выполнения работ получены высокие показатели эффективности поверхностной стерилизации материала – 85% стерильных эксплантов *in vitro* от полевых растений-доноров. На основе исследований разработан способ (патент RU 2 796 463 C1). Из-за высокой генотипспецифичности сахарной свеклы создание универсальных протоколов культивирования проблематично. Для разных генотипов были подобраны оптимальные составы питательных сред, дополненных витаминами, стимуляторами роста в различных концентрациях для размножения, ризогенеза, снижения витрифицированности тканей. Достигнут высокий коэффициент размножения ($k=6$), позволяющий многократно увеличить количество получаемых микроклонов. Подобраны оптимальные условия укоренения *in vitro*, эффективность которых составила 80%. Доля растений, адаптированных к условиям закрытого грунта, составила 100%.

Разработанная технология клонального микроразмножения позволила массово получать выравненный материал перспективных линий сахарной свеклы с применением в селекционном процессе по созданию гибридов ООО «СоюзСемСвекла».

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR MASS PRODUCTION OF LINES OF COMPONENTS OF SUGAR BEET HYBRIDS *IN VITRO* FOR DOMESTIC BREEDING

E.O. Kolesnikova, E.I. Donskikh, R.V. Berdnikov

Breeding and Genetic Center “UnionSeedsBeet”, Ltd., VNIISS, Ramonsky district, Voronezh region, Russia

Key words: microcloning, development, sugar beet, *in vitro*

**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ЭНТОМОПАТОГЕННЫЙ ШТАММ
BACILLUS THURINGIENSIS 0271****Крыжко А.В.**ФГБУН Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия
E-mail: nk_lib@mail.ru**Ключевые слова:** *Bacillus thuringiensis*, штамм, энтомопатоген

Из гусениц *Hyphantria cunea* Drury природных популяций микробиологическим методом выделили штамм 0271, по первичным признакам споро- и кристаллообразования, физиолого-биохимическим и антигенным свойствам отнесенный к *Bacillus thuringiensis* var. *darmstadiensis*.

Установлено, что штамм 0271 способствуют 100% гибели личинок *Leptinotarsa decemlineata* Say в течение 7 суток, из них около 50% насекомых погибает в течение 3 суток. Описываемый штамм активен против *Xanthogaleruca luteola* Stadius Muller (95,8% гибель личинок на 7-е сутки). Против *Cydalima perspectalis* Walker наблюдали 85,4–100% гибель на 7-е сутки, при этом 83,3% гусениц младших возрастов погибали на 5-е сутки опыта. Энтомоцидная активность штамма 0271 против *Euproctis chrysorrhoea* L. и *Mamestra brassicae* L. составляет 93,5–99,4% в течение 10 суток, а против *Hyphantria cunea* Drury и *Yponomeuta malinellus* Zeller – 100% в течение 6–7 суток.

Получена жидкая споровая культура штамма 0271 с титром 1,3–1,8 млрд. в 1 мл в питательной среде, состоящей на 2,5% из соевой муки и из 1,6% кукурузного крахмала. Культивирование проводили при 27–30°C, 220 об/мин. технологической качалки, в течение 44–48 часов.

Показано, что энтомоцидная активность жидкой препаративной формы штамма *B. thuringiensis* 0271 (LD₅₀ млн. спор /мл) относительно личинок колорадского жука составила 4,24. Обработка корма жидкой препаративной формой штамма 0271 вызвала снижение веса и размера насекомых максимально на 83,5 и 72,9% соответственно в сравнении с контролем на 10 сутки эксперимента. Споровая культура штамма 0271 обладает антифидантным действием, способствуя уменьшению повреждаемости зеленой массы картофеля (5%), тогда как не обработанные растения были повреждены на 85-95%.

Таким образом, штамм бактерий *B. thuringiensis* var. *darmstadiensis* 0271 перспективен в качестве основы биопрепарата для регуляции численности листогрызущих вредителей сельскохозяйственных и декоративных растений.

A PROMISING ENTOMOPATHOGENIC STRAIN OF *BACILLUS THURINGIENSIS* 0271**Kryzhko A.V.**

Federal State Budgetary Scientific Research Institute of Agriculture of the Crimea, Simferopol, Russia

Key words: *Bacillus thuringiensis*, strain, entomopathogen

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ КАЛЛУСА СОЛОДКИ ГОЛОЙ

Лотоцкий С.О.* , Матыков Н.Е., Ермошин А.А.
Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
*E-mail: SviatLototskii@ya.ru

Ключевые слова: аминокислоты, каллус, солодка, хроматография

Аминокислоты, являясь мономерами белков, играют ключевую роль в метаболизме всех живых организмов. При этом животные клетки не способны к синтезу незаменимых аминокислот и должны получать их с пищей. Поэтому композиция незаменимых аминокислот влияет на питательные свойства продуктов, у лекарственных растений данные метаболиты могут выступать в качестве вспомогательных веществ. Солодка голая издавна применяется в медицине. При этом ресурсы солодки ограничены, она занесена в ряд региональных Красных книг, поэтому актуальным является ее культивирование *in vitro*. Целью работы является изучение аминокислотного состава каллусной культуры солодки голой.

Каллус солодки культивировали на питательной среде MS с 3% сахарозы и добавлением фитогормонов (1 мг/л БАП, 5 мг/л 2,4-Д или 1 мг/л БАП, 5 мг/л 2,4-Д, 2,5 НУК) на свету при 25°C. Качественный анализ этанольных экстрактов проводили методом бумажной хроматографии в системе н-бутанол–уксусная кислота–вода (4:1:5). Проявление хроматограммы и количественный анализ проводили по реакции с 0,25% раствором нингидрина в этаноле.

Экстракты из каллусов показали большее разнообразие (по 14 идентичных анализов) аминокислот по сравнению с корнем (7 анализов) и листом (12 анализов). Удалось идентифицировать 8 соединений. Для всех вариантов показаны: глутаминовая кислота, аланин и пролин. Во всех экстрактах, кроме корней, присутствуют 3 незаменимые аминокислоты: триптофан, валин, лейцин. Только в каллусах обнаружен аргинин и тирозин.

Культура достоверно отличалась большим содержанием аминокислот. По суммарному содержанию свободных аминокислот (мг в эквиваленте глицина/г сухой массы) экстракты можно расположить в следующий ряд: каллус на среде без НУК ($31,73 \pm 1,93$) > каллус на среде с НУК ($29,76 \pm 0,80$) > лист ($8,59 \pm 0,20$) > корень ($3,04 \pm 0,08$). При этом отличия между культурами, выращенными на разных сочетаниях фитогормонов, не являются статистически значимыми.

Увеличение разнообразия аминокислот и суммарного их содержания в каллусах связано с интенсификацией метаболизма в культуре, что могло быть вызвано значительным содержанием аммонийной (NH_4^+) и нитратной форм азота (NO_3^-) в питательной среде. В каллусах были обнаружены незаменимые аминокислоты, которые не встречались в интактных корнях, что делает их перспективными для дальнейшего изучения и использования. С учетом отсутствия достоверного влияния фитогормонов на качественный и количественный состав аминокислот можно считать сочетание 1 мг/л БАП и 5 мг/л 2,4-Д наиболее выгодным.

AMINO ACID COMPOSITION OF LICORICE CALLUS

Lototskii S.O., Matykov N.E., Ermoshin A.A.
Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: amino acids, callus, chromatography, licorice

ИНОКУЛЯЦИЯ ЦИНК-СОЛЮБИЛИЗИРУЮЩИМИ PGP-РИЗОБАКТЕРИЯМИ СОВМЕСТНО С ОПРЫСКИВАНИЕМ ЙОДОМ КАК ЭФФЕКТИВНАЯ АГРОТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ БИООБОГАЩЕНИЯ СЕЯНЦЕВ ПШЕНИЦЫ

Малева М.Г.^{1*}, Дарказанли М.¹, Борисова Г.Г.¹, Ильин В.А.¹, Кумар А.²

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²Ганди Институт технологии и менеджмента, Висакхапатнам, Андхра-Прадеш, Индия

*E-mail: maria.maleva@mail.ru

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., ростстимулирующие ризобактерии (PGPR), макро- и микроэлементы, биофортификация

Биофортификация или прижизненное обогащение растений биогенными элементами и биологически активными веществами, в том числе антиоксидантами, является одной из стратегий борьбы со «скрытым голодом». Особый интерес представляет микробиологическая биофортификация, которая предполагает использование PGP-бактерий (от англ. “Plant Growth Promoting” – стимулирующих рост растений). Повышение биодоступности макро- и микроэлементов в почве с использованием микробных инокулянтов способствует их поглощению и биообогащению сельскохозяйственных культур или производимых из них продуктов, что является экономически эффективным решением проблемы продовольственной безопасности, особенно в развивающихся странах.

Было изучено влияние Zn-солубилизирующих штаммов PGP-ризобактерий (PGPR) на морфофизиологические характеристики и содержание макро- и микроэлементов у пшеницы мягкой озимой (*Triticum aestivum* L. сорт Еланчик) при биофортификации разными формами йода (KI и KIO₃). Обнаружено, что инокуляция семян пшеницы селективными штаммами PGPR (*Pantoea* sp. STF1 и *Pseudomonas* sp. STF13) увеличивала сырую и сухую надземную биомассу, а также содержание хлорофиллов и каротиноидов по сравнению с неинокулированными растениями. Внекорневая подкормка пшеницы KI или KIO₃ влияла на рост растений в меньшей степени, чем инокуляция PGPR, однако приводила к накоплению йода в биомассе побега (в 4–8 раз по сравнению с необработанными сеянцами). Выявлено, что инокуляция исследуемыми штаммами не оказывала существенного влияния или достоверно снижала количество продуктов перекисного окисления липидов в листьях пшеницы, особенно при опрыскивании KI. В то же время стимулировался синтез растворимых фенольных соединений, в том числе флавоноидов, доля которых значительно увеличивалась при действии обоих факторов. Более того, инокуляция пшеницы Zn-солубилизирующими PGPR приводила к достоверному возрастанию содержания основных макроэлементов (NPK), а также Zn и Fe (в 1,3 и 1,6 раз, соответственно) в растительной биомассе. Таким образом, оба изученных штамма в сочетании с внекорневой подкормкой йодом можно использовать для улучшения роста и биообогащения сеянцев пшеницы биогенными элементами и антиоксидантами.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00292, <https://rscf.ru/project/23-26-00292/>.

INOCULATION WITH ZINC-SOLUBILIZING PGP-RHIZOBACTERIA TOGETHER WITH IODINE SPRAYING AS AN EFFECTIVE AGROTECHNOLOGY FOR BIOFORTIFICATION OF WHEAT SEEDLINGS

Maleva M.G.¹, Darkazanli M.¹, Borisova G.G.¹, Ilyin V.A.¹, Kumar A.²

¹Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

²Gandhi Institute of Technology and Management, Visakhapatnam, Andhra Pradesh, India

Key words: *Triticum aestivum* L., plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), macro- and micronutrients, biofortification

РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФЛАВОНОИДОВ В РИЗОДЕГРАДАЦИИ ПАУ**Муратова А.Ю.* , Панченко Л.В., Кузянов Д.А.**¹Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов
ФИЦ Саратовский научный центр РАН, Саратова, Россия

*E-mail: muratova_a@ibppm.ru

Ключевые слова: корневые экссудаты, растительно-микробные взаимодействия, ризодеградация, флавоноиды

Растительно-микробная деградация органических загрязнителей происходит в ризосфере под действием корневых экссудатов растений. Выделяемые с экссудатами фенольные соединения и флавоноиды благодаря подобию их химической структуры полициклическим ароматическим углеводородам (ПАУ) могут обуславливать способность ризосферных микроорганизмов подвергать деградации такие ароматические поллютанты. На примере двух ризобактерий – *Ensifer meliloti* и *Mycolicibacterium gilvum*, выделенных ранее из ризосферы люцерны посевной (*Medicago sativa* L.), исследовано влияние шести флавоноидов (нарингенина, рутина, морины, кверцетина, апигенина и лютеолина) на микробную деградацию трехкольцевого ПАУ фенантрена. Показано, что эффект флавоноидов на биодеградацию ПАУ варьировал от нейтрального или даже ингибирующего до стимулирующего. Один и тот же флавоноид мог оказывать противоположное действие на рост и деградацию фенантрена разными бактериями. Характер влияния исследуемых флавоноидов на рост бактерий не зависел от присутствия ПАУ. На примере нарингенина показано, что стимулирование роста бактерий тем или иным флавоноидом могло не сопровождаться усилением деградации ПАУ. Все исследованные флавоноиды, кроме рутина, подвергались микробной деградации. Полученные данные свидетельствуют об использовании растительных флавоноидов в качестве источника не только углерода, но и энергии. Инокуляция люцерны компетентной ризобактерией *E. meliloti* приводила к увеличению содержания и качественным изменениям профиля фенольных соединений в корневых экссудатах растений, а также к усилению ризодеградации фенантрена, что, очевидно, было связано с повышенной метаболической активностью в ризосфере. Проведенное исследование позволяет предположить роль растительных флавоноидов в ризодеградации ПАУ.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания №1022040700974-4.***ROLE OF PLANT FLAVONOIDS IN RHIZODEGRADATION Of PAHs****Muratova A.Yu., Panchenko L.V., Kuzyanov D.A.**Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms,
FRC Saratov Scientific Centre of RAS, Saratov, Russia**Key words:** root exudates, plant-microbial interactions, rhizodegradation, flavonoids

ТРАНСЛЯТОМНЫЕ КАРТЫ РАСТЕНИЙ – НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ БИОЛОГИИ

Павленко О.С.^{1*}, Тюрин А.А.¹, Демьянчук И.С.¹,
Мустафаев О.², Голденкова-Павлова И.В.¹

¹Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

²Институт генетических ресурсов Национальной академии наук Азербайджана, Баку, Азербайджан

*E-mail: helliga.p@gmail.com

Ключевые слова: мРНК, транскрипция, трансляция, транслятомное картирование

В реализации генетической информации эукариотами выделяют три основных этапа: транскрипцию, альтернативный сплайсинг и трансляцию. В то время как изучению способов влияния на эффективность работы генов посредством транскрипции в последние несколько десятилетий уделялось большое внимание, вклад других этапов долго оставался недооцененным. Так, на данный момент для модельных растений и наиболее значимых сельскохозяйственных культур созданы транскриптомные карты, позволяющие моделировать транскрипцию конкретных генов в отдельных тканях и/или органах на различных стадиях развития и/или под влиянием целого ряда абиотических факторов среды. Однако, транскрипция является лишь первым этапом реализации генетической информации и, как показали недавние исследования, между содержанием индивидуальной мРНК и содержанием соответствующих белков в протеоме наблюдается слабая корреляция. Что свидетельствует о важности более детального изучения процесса трансляции и возможностей ее регулирования.

На данный момент специфические особенности контроля трансляции даже у модельного растения *Arabidopsis thaliana* изучены весьма фрагментарно, что ставит перед исследователями задачу создания транслятомных карт растений, которые могут быть применимы, как для фундаментальных исследований механизмов экспрессии отдельных генов, так и для применения полученных знаний в практических целях. Так, систематические исследования транслятомики растений путём поиска стабильно транслируемых мРНК, определения трансляции в конкретных тканях и/или органах, оценивания влияния стрессовых факторов окружающей среды на трансляцию в растениях позволят устранить пробелы в понимании трансляции как важнейшего этапа реализации генетической информации и устранить пробелы в аннотации геномов растений. В то же время функциональный анализ потенциальных регуляторных элементов и мотивов, участвующих в инициации, элонгации, терминации, а также возобновлении трансляции с конкретной мРНК, может иметь большое прикладное применение, как для оптимизации последовательностей гетерологичных генов в трансгенных растениях, так и для манипулирования трансляцией нативных генов сельскохозяйственных культур методами геномного редактирования.

Проект поддержан Грантом РФФИ № 22-14-00057.

PLANTS TRANSLATOMIC MAPPING – A NEW TOOL FOR FUNDAMENTAL AND APPLIED BIOLOGY

Pavlenko O.S.¹, Tyurin A.A.¹, Demyanchuk I.S.¹,
Mustafaev O. N.², Goldenkova-Pavlova I.V.¹

¹K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

²Genetic Resources Institute, National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Key words: mRNA, transcription, translation, translatomic mapping

К МЕХАНИЗМУ ДЕЙСТВИЯ РЕСВЕРАТРОЛА ИЗ РЕЙНУТРИИ ЯПОНСКОЙ (*REYNOUTRIA JAPONICA*)

Рогожин Е.А.^{1,2*}, Барашкова А.С.^{1,2}, Шевчук Т.В.¹

¹Государственный научный центр РФ Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
Санкт-Петербург-Пушкин, Россия

*E-mail: rea21@list.ru

Ключевые слова: биологическая активность, вторичные метаболиты растений, оптическая изомерия, рейнутрия японская, фенольные соединения

Растения представляют собой уникальные источники разнообразных вторичных метаболитов, обладающих биологической активностью. При этом наибольший интерес вызывают различные соединения фенольной природы, в частности, флавоноиды и фитоалексины, поскольку преимущественно с их действием связывают антиоксидантную и антирадикальную активность, которые препятствуют интенсивному накоплению мутаций ДНК в клетках человека и, по сути, замедляют их «старение» за счет продления скорости «обновления». Ресвератрол – одно из наиболее известных растительных соединений полифенольной природы, для которого было показано множество биологических эффектов в системах *in vitro* и *in vivo*, однако молекулярные механизмы, которые легли в их основу, установлены не были. Рейнутрия японская, или горец японский, является одним из основных видов растений, в котором показано максимальное содержание ресвератрола (более 1 мг/г сухой массы). При этом стоит отметить, что содержание ресвератрола выше в подземных частях данного растения, и его модификации в виде гликозидов представлены в большем количестве, чем оригинальная форма молекулы. В рамках данной работы было установлено содержание ресвератрола в спиртовом экстракте зеленой массы данного растения, однако время его удерживания при разделении методом обращено-фазовой ВЭЖХ было бóльшим по сравнению со стандартом транс-ресвератрола (Sigma-Aldrich, США). На основании УФ-спектрофотометрического анализа было выдвинуто положение, что ресвератрол в экстракте зеленой биомассы рейнутрии представлен исключительно цис-формой, притом, что биологически активной считается именно транс-конфигурация молекулы. Дальнейший анализ литературных данных и результаты собственных исследований подтвердили, что при изомеризации ресвератрола повышается его гидрофобность и, следовательно, время удерживания. Дальнейшее сравнительное тестирование транс-формы ресвератрола и его цис-конфигурации на наличие антимикробных свойств позволила выявить ее только у первого соединения, тогда как цис-изомер был неактивен. Полученный результат подтверждает гипотезу о реализации механизма действия данного стильбена на молекулярном уровне посредством необратимого перехода транс-изомера ресвератрола в цис-положение, который обусловлен фотоактивацией.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-44-10021).

TO THE MODE OF ACTION FOR RESVERATROL FROM *REYNOUTRIA JAPONICA*

Rogozhin E.A.^{1,2}, Barashkova A.S.^{1,2}, Shevchuk T.V.¹

¹Shemyakin and Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

²All-Russian Institute for Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russia

Key words: biological activity, plant secondary metabolites, optical isomerism, *Reynoutria japonica*, phenolic compounds

БИОИНФОРМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕДСКАЗЫВАЮТ СУЩЕСТВОВАНИЕ ТРАНСМЕМБРАННЫХ ФОСФОТРАНСМИТТЕРОВ В ЦИТОКИНИНОВОМ СИГНАЛЬНОМ ПУТИ

Савельева Е.М.* , Ломин С.Н., Архипов Д.В.

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

*E-mail: savelievaek@ya.ru

Ключевые слова: фосфотрансмиттеры, трансмембранные домены, цитокининовый сигналинг

Биоинформатическими методами был найден новый тип белков-фосфопереносчиков, которые, по-видимому, играют пока неизвестную роль в передаче цитокининового сигнала в растениях. В принятой схеме работы цитокининовой сигнальной системы фосфотрансмиттеры являются посредниками между рецепторами, находящимися на мембране клеточного компартмента, и регуляторами ответа в ядре клетки. Найденные белки отличаются от канонических цитозольных форм наличием трансмембранных доменов, что указывает на их неспособность передвигаться через цитозоль и передавать сигнал в ядро. У 40 видов растений разных кладов, таксонов и групп было выявлено несколько десятков вариантов подобных белков, обладающих функциональными фосфотрансмиттерными доменами и активными сайтами. Отдельно можно отметить, что подобный белок есть и у модельного растения арабидопсис. Среди нескольких сплайс-форм белка АНРЗ есть два варианта с потенциальными ТМ доменами на N-конце, предшествующие фосфотрансмиттерному домену.

Для найденных трансмембранных фосфотрансмиттеров был проведен филогенетический анализ на уровне ДНК, построено филогенетическое древо и получены их трехмерные структуры. В ходе проводимого биоинформатического исследования было сделано предположение об их специфической роли в регуляции передачи цитокининового сигнала. Мы предполагаем, что найденные потенциальные трансмембранные белки могут принимать фосфат от ресиверного домена цитокининового рецептора и препятствовать его дальнейшей передаче (из-за своей локализации), и/или они могут конкурентно связывать свободные канонические фосфотрансмиттеры, предотвращая принятие ими фосфата.

Существование в растениях неканонических фосфотрансмиттеров может указывать на наличие разных ветвей цитокининового сигналинга. В целом, открытие альтернативных путей передачи гормонального сигнала даёт возможность создания новых, тонких способов его регуляции. Обнаружение новых форм фосфотрансмиттеров – это шаг на пути решения задачи по орган- и тканеспецифичному ингибированию отрицательных эффектов цитокининов, препятствующих их широкому коммерческому применению в сельском хозяйстве.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-74-10026.

BIOINFORMATIC STUDIES PREDICT THE EXISTENCE OF TRANSMEMBRANE PHOSPHOTRANSMITTERS IN THE CYTOKININ SIGNALING PATHWAY

Savelieva E.M., Lomin S.N., Arkhipov D.V.

Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Key words: phosphotransmitters, transmembrane domains, cytokinin signaling

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ В ОТНОШЕНИИ РАСТЕНИЙ И ФИТОПАТОГЕНОВ

Ткаченко О.В.^{1*}, Каргаполова К.Ю.¹, Денисова А.Ю.¹,
Луговицкая Т.Н.², Шипенок К.М.³, Шиповская А.Б.³

¹ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

²ФГБОУ ВО Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

³ФГБОУ ВО Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия

*E-mail: oktkachenko@yandex.ru

Ключевые слова: наночастицы, хитозан, лигносульфат, проростки, фитопатогенные грибы

подавляющее большинство биополимерных нанообъектов проявляет монофункциональную активность, что определяет потенциал создания на их основе альтернативных препаратов с биоактивными свойствами по отношению к растениям и фитопатогенам. Биodeградируемые препараты на основе природных полимеров позволят снизить токсикологическую нагрузку на агрофитоценозы и повысить эффективность технологий органического земледелия.

Для создания наноструктурированных препаратов использованы два типа водорастворимых полиэлектролитных систем, отличающихся зарядом макроцепей: катионные солевые комплексы хитозана с аспарагиновой кислотой и анионные соли лигносульфоновых кислот. Биологическую активность препаратов изучали в лабораторных условиях на проростках модельных растений (пшеница, соя, картофель, огурец, салат) и в культуре клеток и тканей *in vitro* на микроклонах картофеля. Семена растений проращивали на воде после краткосрочного замачивания в биопрепаратах или полностью на препаратах в течение всего срока культивирования. Экспериментально подбирали концентрацию действующих веществ. Микрорастения картофеля культивировали на жидкой питательной среде Мурасиге-Скуга без гормонов с добавлением изучаемых препаратов в нескольких концентрациях. Фунгицидные свойства биопрепаратов определяли на чистых культурах нескольких патогенных грибов.

В результате исследований обнаружено влияние тестируемых препаратов на морфометрические и физиологические параметры растений, различное по степени и направлению. Установлен эффект дозы препаратов и видоспецифические особенности реакции растений. Все изучаемые препараты проявили способность подавлять рост патогенных грибов, степень которой зависела от концентрации веществ в растворе.

Индукцируемые наноструктурированными препаратами воздействия требуют дальнейшего изучения и установления механизмов проявления ответных реакций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-16-00172, <https://rscf.ru/project/24-16-00172/>.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF NANOSTRUCTURED POLYELECTROLYTE PREPARATIONS FOR PLANTS AND PHYTOPATHOGENS

Tkachenko O.V.^{1*}, Kargapolova K.Yu.¹, Denisova A.Yu.¹,
Lugovitskaya T.N.², Shipenok X.M.³, Shipovskaya A.B.³

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

³Saratov State University, Saratov, Russia

Key words: nanoparticles, chitosan, lignosulfate, seedlings, phytopathogenic fungi

РЕПРОДУКЦИЯ *LARIX SIBIRICA* ЧЕРЕЗ СОМАТИЧЕСКИЙ ЭМБРИОГЕНЕЗ В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

Третьякова И.Н.^{1*}, Пак М.Э.¹, Сельдимирова О.А.², Орешкова Н.В.¹

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН), Красноярск, Россия

²Уфимский Институт Биологии УИБ РАН Уфа, Россия

*E-mail: culture@ksc.krasn.ru

Ключевые слова: *Larix sibirica*, соматический эмбриогенез, клеточные линии, клоны

Соматический эмбриогенез является особым типом репродукции хвойных. Переход соматических клеток *Larix sibirica* в эмбриогенное состояние осуществляется в течении 30–40 дней культивирования *in vitro* незрелых зиготических зародышей на среде АИ (патент РФ №2456344 <http://www.freepatent.ru/images/patents/5/2456344/patent-2456344.pdf>).

Эмбриогенные культуры отличаются молочным цветом и рыхлой структурой. Эмбриогенный путь развития соматических клеток идет по типу зиготы – удлинению, и поляризации клеток и их ассиметричного деления. Происходит образование глобулы соматического зародыша и эмбриональных трубок суспензора. На среде АИ с АБК идут процессы дифференцировки и вызревания зародыша. Физиологическими маркерами соматического эмбриогенеза является локализация ауксина (ИУК) в одном из концов удлинённых клеток. В глобулярных зародышах идет четкое распределение гормонов. ИУК, цитокинины и АБК локализуются в клетках глобулы и полностью отсутствуют в клетках эмбриональных трубок суспензора. В активно пролиферирующей эмбрионально-суспензорной массе (ЭСМ) отмечается высокий уровень содержания ИУК (до 2068 нг/г сухого веса, СВ), значительно меньше цитокининов (до 181 нг/г СВ) и очень низкое содержание АБК (до 30 нг/г СВ). При вызревании соматических зародышей происходит увеличение содержания ИУК (до 8541 нг/г СВ) и АБК (до 159 нг/г СВ). Уровень содержания цитокининов остается такой же, как у пролиферирующей ЭСМ. Цитогенетический анализ ЭСМ показал, что молодые КЛ в возрасте до 1 года могут сохранять стабильность и содержать в кариотипе диплоидное число хромосом ($2n = 24$). В длительно пролиферирующих КЛ накапливаются мутации и происходит изменение числа хромосом ($2n = 25$; $2n = 26$). Генотипирование пролиферирующих КЛ лиственницы по 21 ядерному микросателлитному локусу показало их генетическую изменчивость. Отдельные КЛ оставались генетически стабильными. Из одной из таких КЛ (КЛ6) получены клонированные деревья лиственницы сибирской, которые в течении 9 лет успешно растут в почве лесопитомника (Красноярск). Клоны генетически стабильны, отличаются интенсивным ростом и сверххранним развитием генеративных (в семилетнем возрасте) и не повреждаются лиственничной почковой галлицей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках научного проекта № 22-14-20008.

REPRODUCTION OF *LARIX SIBIRICA* THROUGH SOMATIC EMBRYOGENESIS IN *IN VITRO* CULTURE

Tretyakova I.N.¹, Park M.E.¹, Seldimirova O.A.², Oreshkova N.V.¹

¹V.N. Sukachev Forest Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences is a separate division of the FIC KNC SB RAS (IL SB RAS), Krasnoyarsk, Russia

²Institute of Biology, Russian Academy of Sciences, Ufa Research Center RAS, Russia

Key words: *Larix sibirica*, somatic embryogenesis, cell lines, clones

СТИМУЛИРУЮЩАЯ РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ АКТИВНОСТЬ ГАЛОФИЛЬНЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ СОЛЕННЫХ ОЗЕР ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Федоненко Ю.П.^{1*}, Величко Н.С.¹, Кузина М.С.¹, Гринев В.С.^{1,2}, Сигида Е.Н.¹

¹Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов, ФИЦ СЦ РАН,
Саратов, Россия

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г.
Чернышевского, Саратов, Россия

*E-mail: fedonenko_yu@ibppm.ru

Ключевые слова: галофильные бактерии, растительно-бактериальные взаимодействия, рост-стимулирующий потенциал, устойчивость к загрязнению

Антропогенное воздействие является одной из причин снижения плодородия почвы и, как следствие, ее деградации. Эта распространенная проблема большинства урбо- и агроэкосистем эффективно решается биоремедиационными технологиями. Принимая во внимание, что техногенное загрязнение почвы часто сопровождается повышением уровня минерализации, основой безопасных биопрепаратов для ее ремедиации могут стать галофильные бактерии, обладающие стимулирующим потенциалом в отношении роста и развития растений. Целью настоящей работы был комплексный анализ ростстимулирующей активности галофильных бактерий, изолированных из образцов соли и прибрежной почвы озер Эльтон и Боткуль в Волгоградской области.

Оценивали способность галофильных бактерий (нескольких экологических групп по толерантности к содержанию NaCl) к продукции экзополисахаридов, фитогормонов, сидерофоров, солюбилизации соединений фосфора, а также влияние инокуляции бактериями на морфометрические показатели проростков растений и соотношение основных пигментов, участвующих в фотосинтезе. Для представителей родов *Halomonas*, *Bacillus* и *Virgibacillus* был выявлен рост на безазотистой среде Муромцева, подтверждающий наличие азотфиксирующей способности у этих бактерий. Продукция ИУК была отмечена только для штаммов *B. licheniformis*, *H. ventosae* и *H. dabanensis*. Средняя кратность превышения концентрации фосфатов в среде NBRIP была отмечена для четырех из исследуемых штаммов, а ее значения составили в порядке убывания 2,2; 1,7; 1,6 и 0,4 для *B. licheniformis*, *B. subtilis*, *H. dabanensis* и *B. halotolerans*. Для этих же штаммов была продемонстрирована способность к продукции сидерофоров на CAS агаре. При инокуляции проростков пшеницы суспензией галофильных бактерий был выявлен прирост биомассы (в среднем на 20%) в сравнении с контрольной группой. У инокулированных растений отмечалось статистически значимое увеличение таких показателей, как длина побегов и первого настоящего листа приблизительно на 40 и 60% соответственно, а также площади поверхности первого листа, а также было выявлено увеличение содержания хлорофилла в листьях. Инокуляция галофильными бактериями нивелировала последствия солевого стресса для растений.

Исследование выполнено в рамках проекта Российского научного фонда № 24-24-00407 (<https://www.rscf.ru/project/24-24-00407/>).

PLANT GROWTH PROMOTION OF HALOPHILIC BACTERIA ISOLATED FROM SALT LAKES OF THE VOLGOGRAD REGION

Fedonenko Yu.P.^{1*}, Velichko N.S.¹, Kuzina M.S.¹, Grinev V.S.^{1,2}, Sigida E.N.¹

¹Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of
the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia

²Chernyshevsky Saratov State University, Saratov, Russia

Key words: halophilic bacteria, growth-promoting potential, plant-bacteria interactions, pollution resistance

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЗЛАКОВ НА ТЕХНОГЕННЫХ СУБСТРАТАХ

Филимонова Е.И.^{*}, Глазырина М.А., Лукина Н.В., Колодько Ю.С.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

^{*}E-mail: Elena.Filimonova@urfu.ru

Ключевые слова: злаки, глинистые субстраты, микробиологический препарат, рекультивация

Восстановление нарушенных земель биологическими методами возможно путем создания искусственных луговых сообществ с использованием их как сельскохозяйственных угодий – сенокосов, пастбищ и зон озеленения. Для успешного проведения биологической рекультивации очень важным и актуальным является улучшение свойств субстратов нарушенных территорий, а также подбор видов-фитомелиорантов. Метод ускоренной рекультивации малопригодных субстратов с использованием микробиологического препарата «БИОР-АВ» (в дальнейшем МБП), разработанный в Межотраслевом научно-исследовательском и проектно-технологическом институте экологии топливно-энергетического комплекса (МНИИЭКО ТЭК ранее ВНИОСуголь, г. Пермь), был применен для восстановления растительного покрова на гидроотвале Шуралино-Ягодного месторождения россыпного золота. Активная микрофлора МБП содержит культуру азотобактера – *Azotobacter chroococcum*, способного усваивать атмосферный азот; и культуру *Bacillus megaterium*, солибилизирующую труднодоступный фосфор из деструктивных субстратов. Препарат при минимальных затратах способствует увеличению накопления гумуса, N, P, K в усвояемой форме и обеспечивает хороший рост и развитие растений. Работа была выполнена на мелкоделяночных экспериментальных посевах, заложенных на глинистых малопригодных субстратах без нанесения плодородного грунта. Субстрат экспериментальных участков образован смесью пестро-цветных глин и суглинков с примесью песка, гальки верхних рыхлых отложений россыпей. В ходе проведения мониторингового исследования была выявлена эффективность однократного внесения МБП «БИОР-АВ» на формирование экспериментальных посевов, на развитие и рост побегов испытываемых культур, состав и продуктивность агроценозов, посевные качества семян, агрохимические свойства субстрата. Было апробировано 6 видов многолетних травянистых растений: *Phleum pratense* L., *Dactylis glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds. и *F. arundinacea* Schreb., *Bromus inermis* Leyss. и *Elymus fibrosus* (Schrenk) Tzvelev. Установлено, что внесение микробиологического препарата «БИОР-АВ» в условиях малопригодного по содержанию элементов питания растений субстрата даже при отсутствии мероприятий по уходу (подкормка и т. д.) оказывает положительный эффект на морфологические показатели вегетативных и генеративных побегов высеванных видов, ускоряет формирование продуктивных агроценозов, повышает содержание в субстрате основных элементов минерального питания: общего азота, доступных фосфора и калия, гумуса, повышает значения pH от кислой до слабокислой реакции среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2023-0019.

APPLICATION OF MICROBIOLOGICAL PREPARATION WHEN GROWING CEREALS ON TECHNICAL SUBSTRATES

Filimonova E.I., Glazyrina M.A., Lukina N.V., Kolodko Yu.S.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Key words: cereals, clay substrates, microbiological preparation, reclamation

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИОНАМИ МЕДИ НА РОСТ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА *ТЫРНА LATIPHOLIA L.***Ширяев Г.И.*, Подшивалов М.А.**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: schiriaev.grisha@yandex.ru

Ключевые слова: рогоз широколистный, тяжёлые металлы, семенное потомство, окислительный стресс, антиоксиданты

Медь – редокс-активный тяжёлый металл (ТМ), обладающий высокой токсичностью в повышенных концентрациях. Основными источниками загрязнения ионами меди являются промышленные предприятия, минеральные удобрения, транспорт и др. Токсичность меди обусловлена как ее окислительно-восстановительной активностью (реакции типа Фентона), так и вытеснением других металлов из металлосодержащих биомолекул.

Typha latifolia L. (рогоз широколистный) – это гелофит, находящий широкое применение в технологиях очистки водных объектов от ТМ. Несмотря на большое количество публикаций, посвященных накоплению ионов меди и их влиянию на растения рогоза, практически отсутствуют данные о воздействии экстремальных концентраций данного металла. Были исследованы морфофизиологические параметры однолетних сеянцев рогоза (выращенных из семян, которые были отобраны у растений, длительное время произрастающих на сильно загрязненном ТМ субстрате) при добавлении 2 и 6 г меди/кг почвы. Полученные результаты свидетельствуют о крайне высокой устойчивости рогоза. Так, снижение биомассы наблюдалось лишь при концентрации меди 6 г/кг: в 1,6 и 3,4 раза уменьшалась надземная и подземная биомасса, соответственно. Оценка накопления меди в различных органах рогоза показала, что в корнях ее концентрация достигала 0,21 и 1,40 г/кг сухого веса, а в ризомах – 0,03 и 0,22 г/кг при концентрациях 2 и 6 г/кг почвы, соответственно. В надземной биомассе содержание меди было в 10 и 37 раз меньше в сравнении с подземными органами. Несмотря на отсутствие выраженного снижения биомассы при концентрации меди 2 г/кг, содержание пероксида водорода и малонового диальдегида в листьях было соответственно на 40 и 20% выше по сравнению с контролем, не отличаясь от их концентраций при 6 г/кг меди. Определение содержания таких низкомолекулярных антиоксидантов, как пролин, фенольные соединения и растворимые тиолы, выявило значимое увеличение лишь последних (в среднем на 40% по сравнению с контролем). Несмотря на высокую корреляцию между содержанием меди в органах рогоза и среде ($r = 0,86$, $p < 0,05$), работа барьерных механизмов, вероятно, позволяла гелофиту успешно выдерживать экстремальные концентрации этого ТМ, что даёт возможность рекомендовать рогоз для использования в биомониторинге и фиторемедиации (фитостабилизации и ризофилтрации) экстремально загрязнённых территорий.

THE EFFECT OF EXTREME COPPER POLLUTION ON THE GROWTH OF THE *TYPHA LATIPHOLIA L.* SEED PROGENY**Shiryayev G.I., Podshivalov M.A.**

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian

Key words: broadleaf cattail, heavy metals, seed progeny, redox-reactions, antioxidants

SkyGen

Хотели бы вы получить
НК высокого качества
быстро и просто?



kits.skygen.com



Для связи:

sales@skygen.com

SkyGen Kits NA

Широкий выбор наборов реагентов для выделения и очистки ДНК и РНК из клеток, тканей, дрожжей, нестандартных и редких образцов



Артикул: ERC423

Набор для выделения ДНК/РНК/белков

Позволяет быстро и одновременно выделять ДНК, полную РНК и белки из культивируемых клеток или тканей животных, а также одновременно обрабатывать большое количество различных образцов.

Весь процесс выделения может быть выполнен в течение 1 часа.

- Технология выделения: На спин-колонках
- Тип биоматериала: Ткань
- Тип биоматериала: Культура клеток
- Тип НК: ДНК/РНК/Белок
- Формат: Набор



Артикул: ERC441

Набор для выделения полной РНК из растительных тканей на микроцентрифужных колонках

В состав набора входит уникальный буфер СЛ, оптимально лизирующий растительные ткани. Набор проверен на таких образцах как мякоть бананов, арбузов, яблок, груш, клубни сладкого картофеля, картофеля, а также листья хлопчатника, розы, люцерны, риса и белая сосновая хвоя.

Общее время выделения составляет 1 час.

- Необходимые реагенты: β -меркаптоэтанол этанол
- Технология выделения: На спин-колонках
- Тип биоматериала: Растения
- Тип НК: РНК
- Формат: Набор



SkyGen

SkyGen Kits NA

Широкий выбор наборов реагентов для выделения и очистки ДНК и РНК из клеток, тканей, дрожжей, нестандартных и редких образцов



kits.skygen.com

Для связи:



sales@skygen.com



Артикул: EDC336



Артикул: ERC501

Набор "SKYamp Soil DNA Kit"

В наборе SKYamp Soil DNA Kit используется уникальная буферная система, с помощью которой можно полностью удалить гуминовую кислоту из образца почвы. В этом наборе также используются гомогенизирующие частицы диаметром 1мм для процесса лизиса компонентов образца почвы, чтобы гарантировать целостность геномной ДНК. Геномная ДНК, выделенная этим набором, обладает чистотой и высокой целостностью, поэтому она может послужить превосходным шаблоном для дальнейших молекулярно-биологических экспериментов, таких как ПЦР-анализ, рестрикционный анализ и прочие ферментативные реакции.

- Технология выделения: На спин-колонках
- Тип НК: ДНК
- Формат: Набор
- Тип биоматериала: Почва



Набор "Набор SKYamp miRcute miRNA Isolation Kit"

Набор предназначен для селективного выделения микроРНК. При использовании данного набора происходит выделение малых РНК, таких как малые интерферирующие РНК (миРНК), малые ядерные РНК (мяРНК), а также тотальной РНК.

В наборе реализованы инновационные решения, оптимизирован состав лизирующего буфера, а также мембрана кремниевой колонки, способная адсорбировать РНК малых размеров (<200 п.о.), получая высококачественный продукт.

- Технология выделения: На спин-колонках
- Тип биоматериала: Сыворотка/плазма крови
- Тип биоматериала: Растения
- Тип биоматериала: Ткань
- Тип НК: РНК
- Формат: Набор





ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ПОСТАВЩИК РЕШЕНИЙ
ДЛЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ И ПРОБОПОДГОТОВКИ БИБЛИОТЕК
ДЛЯ ЛЮБЫХ ПЛАТФОРМ NGS



· **Подготовка библиотек под любую платформу**

- Illumina
- MGI
- Ion Torrent
- Oxford Nanopore



· **NGS решения**

- Наборы для измерения концентрации
- Набор VANTS для создания библиотек
- Магнитные шарики



· **Молекулярная биология**

- ПЦР, ОТ-ПЦР, ПЦР в реальном времени
- Молекулярное клонирование
- Изотермическая амплификация
- Наборы для точечного мутагенеза
- Мультиплексная амплификация
- Полимеразы горячего старта
- Всё для электрофореза
- Антитела для Вестерн-блоттинга



SkyGen

SkyGen - официальный дистрибьютор продукции Vazyme на территории России и СНГ.

ngs.skygen.com
info@skygen.com

ДИА•М
современная лаборатория

www.dia-m.ru
заказ on-line

Генные технологии здоровья

СЕРИЯ G Генетический анализатор

Генетический анализатор серии G — это полностью автоматическая многоканальная платформа для генетических операций с функциями анализа фрагментов и секвенирования.

Анализатор поставляется со следующими компонентами системы: Система впрыска клея; Система оптического пути; Автоматическая система пробоотборника; Система контроля температуры; Компьютерно-программный комплекс; Модуль силовой цепи; Модуль стеллажной конструкции.



Преимущества для производительности

Широкий диапазон флуоресцентного определения

Твердотельный лазерный источник возбуждения, длина волны возбуждения 505 нм, диапазон дальности обнаружения до 650 нм, флуоресцентный канал обнаружения поддерживает до шести цветов.

01

Однородность сигнала качества

Режим спектральной проводимости оптического волокна, двухлучевое лазерное устройство и высокоустойчивая система оптического пути обеспечивают высокую степень однородности энергетического сигнала.

02

Высокая совместимость расходных материалов

Поддержка замены различных типов расходных материалов, таких как формамиды, полимеры и прочие ключевые расходные материалы.

03

Параметры	G08	G16	G24
Количество капилляров	8	16	24
Скорость обработки (36 см / режим P4)	16 образцов/час	32 образцов/час	48 образцов/час
Размеры (Г x Ш x В)	610 × 710 × 820 мм		
Масса	105 кг		
Характеристики лазера	Твердотельный лазер нового типа и высокой мощности 505 нм		
Длина волны лазера, нм	505		
Диапазон флуоресцентного определения, нм	522—650		
Мощность лазера, мВт	50		
Диапазон напряжения, кВ	0—20		
Условия эксплуатации	Влажность: 20–80 % (без конденсации); Температура в помещении: 20–30 °С, колебания температуры ± 2 °С.		
Денатурация перед электрофорезом	Нет		
Уровень открытости системы	Открытая		
Время определения, мин	30		
Длина капилляров	36 см (50 см для функции секвенирования)		
Формат	.fsa/.abi		
Гарантия, лет	1		
Метод отбора проб	Автоматический отбор проб, 96-луночный планшет * 2		
Метод ввода полимера	Автоматический ввод		
Интеллектуальная подготовка образцов	Набор красителей, режим работы, приоритет и спектральная калибровка могут быть автоматически изменены группой выполнения; Поддержка приоритета автозаполнения и настройки; Поддержка переименования и запуска уже запускавшейся таблицы образцов.		
Контроль прибора	Статус планшета для образцов A/B; Контроль в реальном времени		



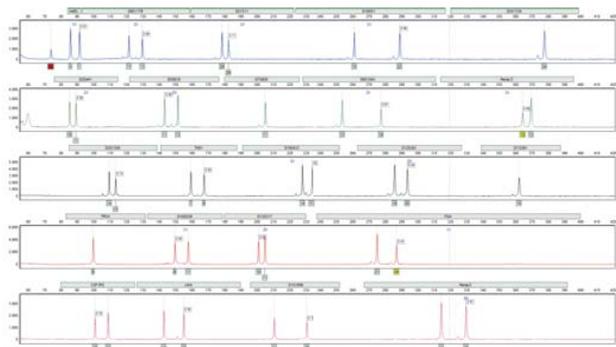
● Информация о разрешении

Типы модулей управления	Конфигурация		Длительность выполнения	Производительность см			
	Длина капилляров	Полимер		Диапазон разрешающей способности	Точность определения размеров		
					50–400 п.о.	401–600 п.о.	601–1200 п.о.
GeneScan36_POP4, POP7,P4_Default	50 см	P4	40мин	От ≤ 60 до ≥ 400	<0.15	NA++	NA++

Диапазон разрешающей способности: Диапазон оснований, в котором разрешение (интервал расстояния между пиками, деленный на ширину пика на половине максимума в стандартной выборке размером 600, размер которой соответствует третьему порядку), составляет ≥ 1 . В таблице показан диапазон разрешения для $\geq 90\%$ образцов.

++ :Неприменимо ввиду размера фрагментов, собранных при прогоне.

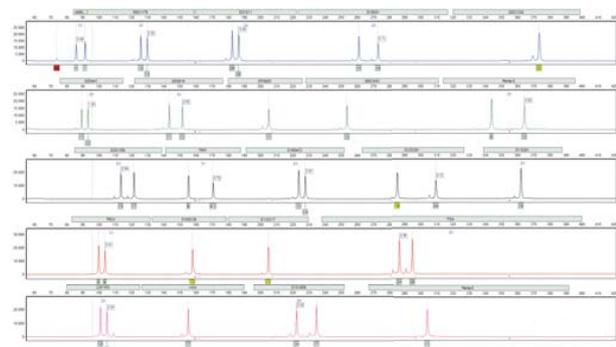
● Данные фрагментов



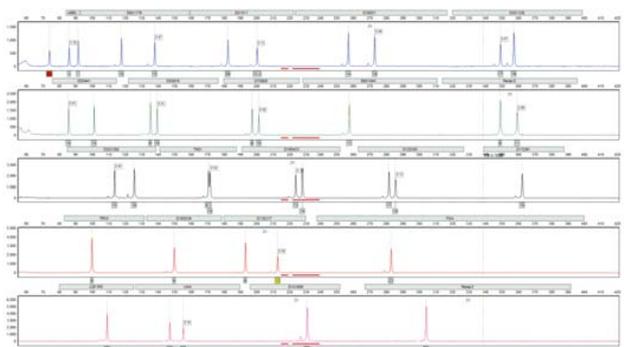
Данные образца сигареты



Данные образца пятна семенной жидкости



Данные образца карты крови



Данные образца карты слюны

● Данные секвенирования



● Информация для заказа оборудования

Модель	G08	G16	G24
Поз. №	A01010016	A01010017	A01010018

● Информация для заказа расходных материалов

Модель	Спецификация	Поз. №
Полимер P4	7 мл на флакон	A01010011
Полимер P7	28 мл на флакон	A01010019
Формамид высокой чистоты	25 мл на флакон	A01010013
Буферный раствор высокой концентрации	25 мл на флакон	A01010014
Капиллярная линейка G08-L36	36 см	1-07-0101-0067
Капиллярная линейка G08-L50	50 см	1-07-0101-0063
Капиллярная линейка G16-L36	36 см	1-07-0101-0068
Капиллярная линейка G16-L50	50 см	1-07-0101-0064
Капиллярная линейка G24-L36	36 см	1-07-0101-0069
Капиллярная линейка G24-L50	50 см	1-07-0101-0065

● Информация для заказа реагентов для секвенирования

Модель	Спецификация	Поз. №
Смесь для цикла секвенирования BD3	125 реакц. * 20	6-04-1521
	125 реакц. * 5	6-04-1522
5× буферный раствор для секвенирования	112 мл	6-04-1523
	28 мл	6-04-1524
	1 мл	6-04-1525
Набор для очистки ХТ (Смола для очистки ХТ + раствор для очистки ХТ)	5000 подготов.	6-04-1526
	1000 подготов.	6-04-1527

Диаэм, Москва ■ ул. Магаданская, д. 7, к. 3 ■ тел./факс: 8 (800) 234-0508 ■ sales@dia-m.ru



С.-Петербург
spb@dia-m.ru

Новосибирск
nsk@dia-m.ru

Воронеж
vrn@dia-m.ru

Йошкар-Ола
nba@dia-m.ru

Красноярск
krsk@dia-m.ru

Казань
kazan@dia-m.ru

Ростов-на-Дону
rnd@dia-m.ru

Екатеринбург
ekb@dia-m.ru

Кемерово
kemerovo@dia-m.ru

Нижний Новгород
nnovgorod@dia-m.ru

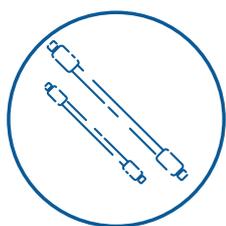
мобильное приложение



www.dia-m.ru



КОМПЛЕКСНОЕ ОСНАЩЕНИЕ ЛАБОРАТОРИЙ



Хроматографические
колонки



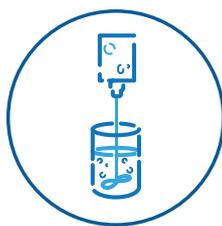
Стандартные
образцы



Растворители
для ВЭЖХ / ОСЧ



Аналитические
приборы



Лабораторное
оборудование



Оборудование
Life Sciences



Микробиология



Химические
реактивы



Биохимические
реактивы



Более 20 тысяч позиций в наличии на складе в Москве!

Казань, 420073, ул. Гвардейская, д.16Б, пом. 7, тел.: +7 (843) 273
6761, 272 9786, e-mail: kazan@chimmed.ru
chimmed.ru

D-PLANTS

R-PLANTS

НАБОРЫ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ДНК И РНК ИЗ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ НА КОЛОНКАХ

Выделенная ДНК подходит для:

- › проведения ПЦР
- › генотипирования
- › ник-трансляции
- › ДНК-секвенирования

Выделенная РНК подходит для:

- › проведения ОТ-ПЦР
- › РНК-секвенирования
- › анализа экспрессии генов



ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАБОРОВ:

Быстрый и воспроизводимый результат

1

Простой, тщательно описанный протокол

2

Широкий спектр применения для множества исследовательских задач

3

Не требует использования фенола и хлороформа

4



**Закажите
наборы
на сайте**

Оформите заказ с доставкой:

e-mail: sales@biolabmix.ru

Тел: 8 800 600 88 76

www.biolabmix.ru



Biolabmix®

Научное издание

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

**Годичное собрание Общества физиологов растений России
Екатеринбург, 3–8 октября 2024**

Тезисы докладов
Всероссийской научной конференции с международным участием

Scientific publication

EXPERIMENTAL PLANT BIOLOGY AND CLIMATE CHALLENGES

**Annual Meeting of the Russian Society of Plant Physiologists
Ekaterinburg, October 3–8, 2024**

Abstracts

All-Russian Scientific Conference with International Participation

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО АМБ»
620142, г. Екатеринбург, ул. Фрунзе, 35А, офис 513
Тел: +7 (912) 242-20-73, +7 (963) 449-75-40
www.amb-ural.ru, e-mail: amb@amb-ural.ru

Главный редактор *Владимир Лобок*
Выпускающий редактор *Елена Назаренко*
Вёрстка *Ульяна Кирилина*

Подписано к использованию 18.09.2024.
Объем данных 15,1 Кб