



РАСТЕНИЯ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ: АДАПТАЦИЯ, УСТОЙЧИВОСТЬ И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

Тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным
участием в рамках годичного собрания Общества физиологов растений России

(г. Якутск, 24 июня — 1 июля 2025 г.)



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Общество физиологов растений России
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН»
Институт физиологии растений РАН им. К.А. Тимирязева
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН

**РАСТЕНИЯ
В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ:
АДАПТАЦИЯ, УСТОЙЧИВОСТЬ
И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС**

*Тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием
в рамках годичного собрания Общества физиологов растений России
(г. Якутск, 24 июня — 1 июля 2025 г.)*

УДК 58(063)

ББК 28.5я431

Р24

Редакционная коллегия:

Максимов Трофим Христофорович (главный редактор), доктор биологических наук,

заместитель генерального директора по науке и международным проектам

ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН; зав. отделом экспериментальной биологии растений мерзлотных экосистем, главный научный сотрудник ИБПК СО РАН, вице-президент

Общества физиологов растений России

Нохсоров Василий Васильевич, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник ИБПК СО РАН, председатель Якутского отделения Общества физиологов растений

P24 **Растения в изменяющемся климате: адаптация, устойчивость и производственный процесс** : тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием в рамках годичного собрания Общества физиологов растений России (г. Якутск, 24 июня — 1 июля 2025 г.) / Общество физиологов растений России, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Ин-т физиологии растений РАН им. К. А. Тимирязева, Ин-т биол. проблем криолитозоны СО РАН ; под ред. Т.Х. Максимова, В.В. Нохсорова. — Казань : Бук, 2025. — 250 с. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-00254-130-0.

Представлены тезисы докладов Всероссийской научной конференции с международным участием, состоявшейся в ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН» с 24 июня по 1 июля 2025 г. в рамках годичного собрания Общества физиологов растений России. В этом крупном научном мероприятии приняло участие около 200 ведущих ученых из многих регионов России и ряда иностранных государств. Были рассмотрены актуальные научные направления исследований в области физиологии и экспериментальной биологии растений и приняты конструктивные решения для их реализации в области: (1) углеродного питания растений в контексте глобальных изменений климата; (2) адаптации и молекулярно-физиологических механизмов устойчивости растений к изменяющимся условиям среды; (3) производственного процесса и экологических условий произрастания растений; (4) фитобиотехнологии в ответ на глобальные вызовы современности.

Сборник будет интересен биологам, экологам, биотехнологам, специалистам сельского и лесного хозяйства.

УДК 58(063)

ББК 28.5я431

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Russian Academy of Sciences

Society of Plant Physiologists of Russia

Federal Research Center Yakutsk Scientific Center SB RAS

K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences

Institute for Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS

PLANTS IN A CHANGING CLIMATE: ADAPTATION, SUSTAINABILITY AND PRODUCTION PROCESS

Abstracts of the reports of the All-Russian scientific conference with international participation within the framework of the annual meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia (Yakutsk, June 24 — July 1, 2025)

UDC 58(063)

BBC 28.5я431

P24

Editorial board:

T.Ch. Maximov, Dr. Sc. Dr. Sci. (Biology), Deputy General Director for Science and International Projects, Federal Research Centre “Yakut Scientific Centre, SB RAS”, Main Researcher and Head of the Department of Experimental Plant Biology of Permafrost Ecosystems, IBPC SB RAS, Vice President of the Society of Plant Physiologists of Russia. (editor-in-chief)

V.V. Nokhsorov, Ph. D, Associate Professor, Senior Researcher of the IBPC SB RAS, Chairman of the Yakut branch of the Society of Plant Physiologists

P24 **Plants in a changing climate: adaptation, sustainability and production process : Abstracts** of the reports of the All-Russian scientific conference with international participation within the framework of the annual meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia (Yakutsk, June 24 — July 1, 2025) / Society of Plant Physiologists of Russia, Federal Research Center Yakutsk Scientific Center SB RAS, K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, Institute for Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS ; editors: T.Ch. Maximov, V.V. Nokhsorov. — Kazan : Buk, 2025. — 250 p. — Text : electronic.

ISBN 978-5-00254-130-0.

The abstracts of the reports of the All-Russian Scientific Conference with International Participation “Plants in a Changing Climate: Adaptation, Sustainability and Production process” are presented. The conference took place at the Federal Research Center Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (June 24 to July 1, 2025, Yakutsk) within the framework of the Annual Meeting of the Society of Plant Physiologists of Russia. Scientists from more than 40 cities of the Russian Federation, as well as from Belarus, China, South Africa, the USA and Nigeria considered current issues of the functioning of plant organisms in a changing biosphere. Scientific areas cover molecular and ecosystem mechanisms of photosynthesis and the production process of plants, carbon sequestration, and plant adaptation to environmental conditions. Modern trends in the development of phytobiotechnology, including omics approaches, are described.

The collection will be of interest to biologists, ecologists, biotechnologists, and specialists in agriculture and forestry.

UDC 58(063)

BBC 28.5я431

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА	18
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	33
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ.....	34
ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОСИСТЕМ В ЯКУТСКОМ СЕКТОРЕ КРИОЛИТОЗОНЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ <i>Максимов Т.Х., Петров Р.Е., Карсанаев С.В., Максимов А.П.</i>	34
ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФАКТОР В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ: РОЛЬ МИТОХОНДРИЙ В ПРОЦЕССАХ АДАПТАЦИИ И ГИБЕЛИ <i>Грабельных О.И., Побежимова Т.П., Любушкина И.В., Степанов А.В., Федотова О.А., Забанова Н.С., Корсукова А.В., Полякова Е.А., Кириченко К.А., Бережная Е.В.</i>	36
РОЛЬ АПОПЛАСТНЫХ БАРЬЕРОВ В СОЛЕ- И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ <i>Веселов Д.С., Ахтямова З.А., Иванов Р.С., Кудоярова Г.Р.</i>	38
РАСТЕНИЕ И СТРЕСС: ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ <i>Кузнецов Вл. В.</i>	39
ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: ОТ БИОХИМИИ ДО ГЕНОМИКИ <i>Минибаева Ф.В., Лексин И.Ю., Хабибрахманова В.Р., Бекетт Р.П.</i>	40
SEASONAL ACCLIMATION OF PSII IN LINGONBERRY (VACCINIUM VITIS-IDAEA L.) LEAVES IN THE NATURAL CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA <i>Sofronova V.E.</i>	41
ИНТРУЗИВНЫЙ РОСТ ВОЛОКОН КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ <i>Горшкова Т.А., Петрова А.А., Козлова Л.В.</i>	42
ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ В ЯКУТИИ <i>Нохсоров В.В.</i>	43
Секция 1. УГЛЕРОДНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА	
РОЛЬ МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВОГО ЯРУСА В БАЛАНСЕ УГЛЕРОДА ЛИСТВЕННИЧНИКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ <i>Прокушин А.С., Полосухина Д.А.</i>	45
СООТНОШЕНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВОМ ЯРУСЕ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ <i>Полосухина Д.А., Шаповалова Д.В., Метелева М.К., Прокушин А.С.</i>	47
СЕЗОННЫЕ И ГОДОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА АЗОТА В ХВОЕ LARIX CAJANDERI НА ЭКОТОНЕ ТАЙГА-ТУНДРА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ <i>Старостин Е.В., Максимов Т.Х.</i>	49

СЕЗОННАЯ И ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ И СЕКВЕСТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХВОЙНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «УРАЛ-КАРБОН» <i>Киселева И.С., Малева М.Г., Трубецкой Д.В., Синенко О.С., Патрикеева А.А., Канивец М.А.</i>	51
СТРУКТУРА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕМНОХВОЙНО-ОСИНОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ <i>Клименко В.С., Ниязова А.В.</i>	52
ЧИСТЫЙ ОБМЕН УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ЭКОСИСТЕМ И АТМОСФЕРЫ В ДНЕВНОЕ ВРЕМЯ ПО ДАННЫМ СЕТИ RUFLUX <i>Куричева О.А., Авилов В.К., Варлагин А.В., Горбаренко Е.М., Дмитриченко А.А., Дюкарев Е.А., Загирова С.В., Замолодчиков Д.Г., Зырянов В.И., Карелин Д.В., Карсанаев С.В., Лапшина Е.Д., Максимов А.П., Максимов Т.Х., Мамадиев Н.А., Мамкин В.В., Марунич А.С., Махмудова Л.Ш., Мигловец М.Н., Михайлов О.А., Панов А.В., Петров Р.Е., Прокушин А.С., Сиденко Н.В., Трусов Д.В., Шилкин А.В., Курбатова Ю.А.</i>	54
НЕ ТОЛЬКО ЦИКЛ КАЛЬВИНА: РОЛЬ НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В РЕГУЛЯЦИИ СКОРОСТИ СВЕТОВЫХ РЕАКЦИЙ ФОТОСИНТЕЗА <i>Маркин Р.В., Иванов Б.Н., Козулева М.А.</i>	57
ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНОГО ГАЗООБМЕНА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЯКУТИИ <i>Григорьев М.Р., Максимов А.П., Максимов Т.Х.</i>	59
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ C ₂ ВИДА SEDOBASSIA SEDOIDES <i>Анисина А.А., Сайдова Л.Т., Шуйская Е.В., Рахманкулова З.Ф.</i>	60
КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЯЕМОГО СТРЕССА <i>Титов А.Ф., Шибаева Т.Г.</i>	61
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СКООРДИНИРОВАННОСТЬ УГЛЕРОДНОГО И ВОДНОГО ОБМЕНА У РАСТЕНИЙ С РАЗНЫМ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА <i>Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Прокофьева М.Ю., Сайдова Л.Т., Анисина А.А.</i>	62
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ БИОМИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАСТЕНИЯХ, КАК НЕУЧТЕННОГО СТОКА АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА <i>Икконен Е.Н., Овчинникова С.В.</i>	63
ЭКОСИСТЕМНЫЕ ПОТОКИ CO ₂ БОЛОТ ЮЖНОЙ И СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ <i>Мамкин В.В., Авилов В.К., Дмитриченко А.А., Дюкарев Е.А., Емельянова Е.Р., Горбаренко Е.М., Гуляев Р.Г., Иванов Д.Г., Курбатов Е.О., Куричева О.А., Лапшина Е.Д., Мигловец М.Н., Михайлов О.А., Огурцов С.С., Сандрерский Р.Б., Суворов Г.Г., Трусова С.Н., Загирова С.В., Курбатова Ю.А.</i>	64
USING CARBON FLUX MEASUREMENTS TO MONITOR AND PROJECT FUTURE CARBON-CLIMATE FEEDBACKS ACROSS THE ARCTIC-BOREAL ZONE <i>Brendan M. Rogers, Sue Natali, Kyle Arndt, Elchin Jafarov, Christina Schädel, Anna Virkkala</i>	67
Секция 2. АДАПТАЦИЯ И МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ	
ADAPTATION OF ARABIDOPSIS THALIANA TO INCREASED LEVELS OF UV-B RADIATION: THE ROLE OF SIGNALING PATHWAYS AND LIGHT RECEPTORS <i>Abramova A.A., Pashkovsky P.P., Vereshchagin M.V., Kreslavski V.D.</i>	68

БЕЛКИ-ИНГИБИТОРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛЬДА В РАЗВИТИИ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ TRITICUM AESTIVUM L.	
Коротаева Н.Е., Федяева А.В., Мусинов К.К., Сурначёв А.С., Боровский Г.Б., Салина Е.А.	69
УГЛЕВОД-СВЯЗЫВАЮЩИЕ БЕЛКИ ЛЬНА: ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЯ Агълямова А.Р., Горшков О.В., Горшкова Т.А.....	71
ВЛИЯНИЕ БИОРЕГУЛЯТОРОВ НА ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХМЕЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО Аль Хуссейн Д., Мостякова А.А. , Тимофеева О.А.	72
УСТОЙЧИВОСТЬ К ФОТООКИСЛИТЕЛЬНОМУ СТРЕССУ МОРСКИХ КРАСНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ AHNFELEIOPSIS FLABELLIFORMIS И CHONDRUS PINNULATUS: ВЛИЯНИЕ ЗИМНЕЙ И ЛЕТНЕЙ ТЕМПЕРАТРНОЙ ПРЕАККЛИМАЗИИ Белоцценко Е.С.	73
БЫСТРЫЕ АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ В ОТВЕТ НА КРАТКОВРЕМЕННОЕ ЗАСОЛЕНИЕ Будаговская Н.В.	75
МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ, КАК ФАКТОР АДАПТАЦИИ СОРТОВ К ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ Быковская И.А., Осипова Л.В.	76
РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ ДЫХАНИЯ У МУТАНТОВ ARABIDOPSIS THALIANA ПО ГЕНАМ РЕЦЕПЦИИ И СИНТЕЗА БРАССИНОСТЕРОИДОВ Бычков И.А., Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В., Шугаев А.Г., Буцанец П.А., Шугаева Н.А.	77
УЧАСТИЕ ДЕГИДРИНОВ В УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕЗЫ К КОНТРАСТНЫМ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ СЕВЕРА Васильева И.В., Татаринова Т.Д., Ветчинникова Л.В., Пономарев А.Г., Перк А.А.....	78
РОЛЬ МИКРОРНК-408 И МИКРОРНК-159 В ЗАЩИТНОМ ОТВЕТЕ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ НА ИНФИЦИРОВАНИЕ ГРИБНЫМ ПАТОГЕНОМ STAGONOSPORA NODORUM (BERK.) Веселова С.В., Бурханова Г.Ф., Нужная Т.В., Румянцев С.Д., Максимов И.В.....	79
РОСТ И РАЗВИТИЕ АПИКАЛЬНОЙ МЕРИСТЕМЫ ПОБЕГОВ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ IN VITRO В УСЛОВИЯХ УКОРОЧЕННОГО И УДЛИНЕННОГО СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ Ветчинникова Л.В., Шибаева Т.Г., Гудкова К.А., Левкин И.А., Титов А.Ф.	80
НОВЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ВЫСШИХ РАСТЕНИЯХ IN VITRO Вильянен Д.В., Козулева М.А.	81
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА СЛОЖНОЦВЕТНЫХ ПРИ ПРОИЗРАСТАНИИ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ КАЛМЫКИИ Волошина Т.В., Онкорова Н.Т., Антонова Ю.О.....	82
СЦЕНАРИИ КСИЛОГЕНЕЗА КАК ОСНОВА АДАПТАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ДИАПАЗОНУ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ (БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ) Галибина Н.А., Мошенская Ю.Л., Никерова К.М., Тарелкина Т.В., Корженевский М.А., Померанец А.К., Серкова А.А., Софонова И.Н., Афошин Н.А.	83
ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ C3-, C4- И CAM-РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СЕВЕРЕ Головко Т.К., Шелякин М.А., Захожий И.Г., Малышев Р.В., Силина Е.В.	85

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КОМИ <i>Головко Т.К., Табаленкова Г.Н., Силина Е.В., Малышев Р.В.</i>	86
МЕТАБОЛИЗМ ОКСИЛИПИНОВ В ELEUSINE CORACANA: ОБНАРУЖЕНИЕ ФЕРМЕНТА С МНОЖЕСТВЕННОЙ АКТИВНОСТЬЮ <i>Горина С.С., Ланцова Н.В., Ильина Т.М., Топоркова Я.Ю., Гречкин А.Н.</i>	87
ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА РАСТЕНИЯ-ФИТОРЕМЕДИАНТЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ФИТОКОНВЕЙЕРА ДЛЯ ОЧИСТКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ <i>Григориади А.С., Сотникова Ю.М., Фархутдинов Р.Г.</i>	88
ВЛИЯНИЕ АСФАЛЬТЕНОВ НА РАЗВИТИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ SORGHUM SUDANENSE <i>Зыков М.В., Сальников В.В.</i>	90
ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ У РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ <i>Гринберг М.А., Ильин Н.В., Немцова Ю.А., Долинин А.А., Иванова А.В., Сарафанов Ф.Г., Пирогова П.А., Волкова А.В., Мареев Е.А., Воденеев В.А.</i>	91
ВЛИЯНИЕ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ НАНОЧАСТИЦ TiO_2 , Fe_3O_4 , NIO В НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ <i>Гудков С.А., Карташов А.В., Фролов Г.А.</i>	92
ОТВЕТЫ НА ВЫЗОВЫ: РАЗНООБРАЗИЕ ПРОГРАММ ВЕТВЛЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ КАК ИСТОЧНИК НОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОГО ПРОЦЕССА <i>Демченко К.Н., Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л.</i>	93
СТЕРИНОВЫЙ СОСТАВ ХВОИ ПЕРВОГО ГОДА В ПЕРИОД АКТИВНОГО РОСТА У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА PICEA <i>Дударева Л.В., Семёнова Н.В., Кривенко Д.А., Нохсоров В.В.</i>	94
РОЛЬ ЭКСПАНСИНОВ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К АБИОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ <i>Кулуев Б.Р., Бережнева З.А., Мусин Х.Г., Заикина Е.А.</i>	95
ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СУБСТРАТА И ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ НА ТАКСОНОМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ МИКРОБИОМА ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО <i>Еговцева А.Ю., Каменева И.А., Якубовская А.И., Абдурашитов С.Ф., Гритчин М.В., Смирнова И.И.</i>	96
ХИТИНАЗА-ПОДОБНЫЕ БЕЛКИ В КОРНЯХ ГОРОХА <i>Егорова А.М., Шаймуллина Г.Х.</i>	97
ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНОВ И ГИПОКСИИ НА СОДЕРЖАНИЕ И ПУТИ МЕТАБОЛИЗАЦИИ ГАМК В РАСТЕНИЯХ PISUM SATIVUM L <i>Ершова А.Н.</i>	98
РЕГУЛЯЦИЯ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ РАПСА БРАССИНОСТЕРОИДАМИ ПРИ ХЛОРИДНОМ ЗАСОЛЕНИИ <i>Ефимова М.В., Коломейчук Л.В., Данилова Е.Д., Литвиновская Р.П., Жабинский В.Н., Хрипач В.А., Кузнецов Вл.В.</i>	99
НОВЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ИНДЕКС ОТРАЖЕНИЯ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ К ВЕЛИЧИНЕ НЕЦИКЛИЧЕСКОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ В УСЛОВИЯХ СВЕТОВОГО, ВОДНОГО И ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА У ГОРОХА <i>Золин Ю.А., Юдина Л.М., Попова А.Ю., Абашева К.Р., Гребнева К.В., Сухова Е.М., Сухов В.С.</i>	101

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ И УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС ЛИСТЬЕВ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ КАК ИНДИКАТОРЫ ВРЕДОНОСНОСТИ В АГРОЦЕНОЗАХ <i>Иванова Л.А., Хапугин А.А., Иванов Л.А.</i>	102
КАТАЛАЗНАЯ И ПЕРОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТИ ДИКОЙ И КУЛЬТУРНОЙ СОИ В ОНТОГЕНЕЗЕ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ СУЛЬФАТОМ КАДМИЯ <i>Иваченко Л.Е., Лаврентьева С.И.</i>	103
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ <i>Казнина Н.М., Титов А.Ф.</i>	104
ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ АППАРАТОМ «ТОР» НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ФУНКЦИИ Vicia faba L. <i>Кайгородова И.М., Козарь Е.Г., Ушаков В.А., Грязнов В.Г., Галкина Е.А., Романенко Т.М., Филиппова А.Б., Юдин А.А.</i>	105
ЧТО МОГУТ РАССКАЗАТЬ ПЕПТИДНЫЕ ГОРМОНЫ ОБ АРХИТЕКТУРЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ТЫКВЕННЫХ? <i>Кирюшкин А.С., Ильина Е.Л., Демченко К.Н.</i>	107
ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ШТАММОВ BACILLUS THURINGIENSIS <i>Крыжко А.В.</i>	108
МЕЛАТОНИН В УСЛОВИЯХ СВЕТОВОГО СТРЕССА ВЫЗЫВАЕТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНУЮ ЭКСПРЕССИЮ ГОРМОН-РЕГУЛИРУЕМЫХ ГЕНОВ <i>Кудрякова Н.В., Шагимарданова Е.И., Бычков И.А., Щелкунов М.И., Клепикова А.В., Байкузина П.Г., Дорошенко А.С., Шитикова В.В., Кузнецов В.В.</i>	109
АНАЛИЗ УЧАСТВУЮЩИХ В МОДИФИКАЦИИ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК ГЕНОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ КЛУБЕНЬКОВ ГОРОХА <i>Кусакин П.Г., Цыганова А.В., Цыганов В.Е.</i>	111
СТРЕССОВЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКОВ К ОБЕЗВОЖИВАНИЮ И РЕГИДРАТАЦИИ: СРАВНЕНИЕ ТРАНСКРИПТОМНЫХ ПРОФИЛЕЙ МИКОБИОНТОВ ЛИШАЙНИКОВ LOBARIA PULMONARIA И XANTHORIA PARIETINA <i>Лексин И.Ю., Ефремова Д.А., Минибаева Ф.В.</i>	112
ВЛИЯНИЕ АНТИОКСИДАНТА СЕЛЕНА НА СОДЕРЖАНИЕ АУКСИНОВ И ПУТИ ДЫХАТЕЛЬНОГО ОБМЕНА У РАСТЕНИЙ СОИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ <i>Пузина Т.И., Легченко У.В.</i>	114
АКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ IN VITRO ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ БИО- ИЛИ НЕКРОТРОФАМИ <i>Ломоватская Л.А., Гончарова А.М.</i>	115
О РОЛИ ЭНДОГЕННОГО N-ФЕНИЛ-2-НАФТИЛАМИНА В ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ РАСТЕНИЙ ГОРОХА (PISUM SATIVUM L.) <i>Макарова Л.Е., Бизиков П.А., Ищенко А.А., Еникеев А.Г.</i>	117
МАРКЕРЫ РАЗВИТИЯ АЭРЕНХИМЫ У HORDEUM VULGARE L. В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ГИПОКСИИ <i>Малыгин М.В., Киселева И.С.</i>	118

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РИЗОСФЕРНОГО МИКРОБИОМА ЭНДЕМИЧНОГО РАСТЕНИЯ ПРИБАЙКАЛЬЯ <i>HEDYSARUM ZUNDUKII</i> PESCHKOVA Маркова Ю.А., Нурминская Ю.В., Васильев И.А., Кривенко Д.А., Хадеева Е.Р., Галивонджян А.Х., Демкина А.О., Гилел К.А., Сутормин Д.А.	119
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ МЕТАБОЛИТОВ В ТКАНЯХ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КРИОЛИТОЗОНЫ Михайлов В.В., Слепцов И.В., Рожина С.М., Кершенгольц Б.М.	121
ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ НИЗКОДОЗОВОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ У СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО ИЗ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА Немцова Ю.А., Шималина Н.С., Гринберг М.А.	122
ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ СОД И ЕЁ ИЗОФОРМ В ПРОРОСТКАХ ЯЧМЕНЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН КОНЬЮГАТАМИ ХИТОЗАНА С ОКСИКОРИЧНЫМИ КИСЛОТАМИ Овчинников И.А., Калацкая Ж.Н., Николайчук В.В., Гилевская К.С.	124
СРАВНЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ И НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛИПИДОВ ПОГРАНИЧНЫХ МЕМБРАН ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ АБИОТИЧЕСКОГО СТРЕССА Озолина Н.В., Капустина И.С., Гурина В.В., Спиридонова Е.В., Нурминский В.Н.	126
ВНУТРИВИДОВАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ТРАНСКРИПТОМНЫХ ОТВЕТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (<i>TRITICUM AESTIVUM</i> L.) НА НИЗКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ Осипова С.В., Горбенко И.В.	127
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОКОМПОЗИТА СЕЛЕНА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА Панов Д.А., Омельченко А.В.	129
РЕКОМБИНАНТНЫЙ АМАРАНТИН ЛЬНА: МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ ПОСТТРАНСЛЯЦИОННЫХ МОДИФИКАЦИЙ Петрова Н.В., Сырчина Н.Г., Михайлова А.А.	130
NaCl-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЕНА GLYR В ЗЕЛЕНЫХ ЛИСТЬЯХ КУКУРУЗЫ Плотникова Е.В., Анохина Г.Б., Епринцев А.Т.	131
УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ Пономарев А.Г.	132
ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ПРОРОСТКАХ <i>HORDEUM VULGARE</i> ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ <i>FUSARIUM CULMORUM</i> . ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРАЙМИНГА РАСТЕНИЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМОЙ АТМОСФЕРНОГО РАЗРЯДА Пшибытко Н.Л., Самохина В.В., Мацкевич В.С., Русакович А.А., Прохорчик П.О., Кощиц Т.О., Вачинская А.В., Аксючиц А.В., Логунов К.Т., Котов Д.А., Демидчик В.В.	133
АДАПТАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР К ПОТЕПЛЕНИЮ КЛИМАТА В ДОНБАССЕ С УЧЕТОМ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ Попытченко Л.М., Косогова Т.М., Решетняк Н.В.	135
ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ИХ ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА Решетняк Н.В., Тимошин Н.Н., Косогова Т.М., Мазалов О.В., Кудрявцев В.В.	136

УЧАСТИЕ ЛИПИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ В АДАПТАЦИИ ЦВЕТКОВ РАСТЕНИЙ РОДА <i>MALUS</i> К НИЗКИМ ЗАКАЛИВАЮЩИМ ТЕМПЕРАТУРАМ Рудиковская Е.Г., Дударева Л.В., Ставицкая З.О., Рудиковский А.В.....	137
РАЗЛИЧИЯ В РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ ТРЕХ ВИДОВ РОДА <i>APtenia</i> (СЕМ. AIZOACEAE) НА ЗАСОЛЕНИЕ Сайдова Л.Т., Анисина А.А.....	138
АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ НА РОСТОВЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ <i>LARIX CAJANDERI</i> НА ТЕРРИТОРИИ КРИОЛИТОЗОНЫ Слепцов И.В., Рожина С.М., Прокопьев И.А., Михайлов В.В., Местникова А.А., Жолобова Ж.О., Алексеев К.В.	139
РЕОРГАНИЗАЦИЯ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА ПРИ РАЗВИТИИ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ КЛУБЕНЬКОВ Цыганов В.Е., Китаева А.Б., Кусакин П.Г., Горшков А.П., Цыганова А.В.	140
ВАЛORIZАЦИЯ КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ Соловченко А.Е., Селях И.О., Семенова Л.Р., Щербаков П.Н., Федоренко Т.А., Шурыгин Б.М., Лукьянов А.А., Бондаренко Г.Н., Васильева С.Г., Михайлова Е.С., Крюк В.А., Лобакова Е.С.	141
ОВОДНЕННОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДА-ЛЁД И МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧЕК ГОЛОСЕМЕННЫХ И ПОКРЫТОСЕМЕННЫХ РАСТЕНИЙ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В.....	143
ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ЗЛАКОВ С РАЗНЫМ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА НА НАТРИЙ-ХЛОРИДНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ Таскина К.Б., Казнина Н.М.....	144
ДЕГИДРИНЫ В АДАПТАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ПРИРОДНЫМ УСЛОВИЯМ КРИОЛИТОЗОНЫ ЯКУТИИ Татаринова Т.Д., Перк А.А., Васильева И.В., Пономарев А.Г.....	145
ОБНАРУЖЕНИЕ БЕСПРЕЦЕДЕНТНОГО 16-ЛИПОКСИГЕНАЗНОГО ПУТИ В РАСТЕНИЯХ ОГУРЦА И ЛЬНА Топоркова Я.Ю., Горина С.С., Ланцова Н.В., Ильина Т.М., Гречкин А.Н.	146
ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОРЧИЦЫ САРЕПТСКОЙ И ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗБЫТКА ЦИНКА И НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ Холопцева Е.С., Казнина Н.М.....	147
РЕГУЛЯЦИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА ЦИТОХРОМНЫМ B_6F КОМПЛЕКСОМ: ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ СЛОЖНОГО ОТВЕТА Хрушев С.С., Плюснина Т.Ю., Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б.	148
ВИДОВАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ СИМБИОТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В АЗОТФИКСИРУЮЩИХ КЛУБЕНЬКАХ Цыганова А.В., Киричек Е.А., Селиверстова Е.В., Цыганов В.Е.	149
ОЦЕНКА МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТЬЕВ <i>OLEA EUROPAEA</i> L., АССОЦИИРОВАННЫХ С ПРИЗНАКОМ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ В КАЧЕСТВЕ БИОМАРКЕРОВ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ Цюпка С.Ю., Булавин И.В., Таран Н.А., Синченко А.В., Цюпка В.А.....	150
ПОДБОР СИСТЕМЫ ПРАЙМЕРОВ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ СОРТОВ <i>OLEA EUROPAEA</i> L. Цюпка В.А., Цюпка С.Ю., Синченко А.В., Таран Н.А.	151

ФОТОПЕРИОДИЧЕСКИЙ СТРЕСС У РАСТЕНИЙ: ОТ ЭКСПЕРИМЕНТОВ К ПРАКТИКЕ Шибаева Т.Г., Титов А.Ф.	152
ЭКСПРЕССИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ГЕНОВ CHENOPODIUM QUINOA ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ Шуйская Е.В., Рахманкулова З.Ф., Саидова Л.Т., Анисина А.А., Прокофьева М.Ю.	153
ПАРАМЕТРЫ БЫСТРОЙ И ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ И Р700 ЛИСТЬЕВ ДЕРЕВЬЕВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ Яковлева О.В., Тодоренко Д.А., Алексеев А.А., Протопопов Ф.Ф., Маторин Д.Н.	154
ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ Яковлева О.С., Осипова Л.В., Быковская И.А.	155
РОЛЬ ГИСТИДИНА И ГЛУТАМИНА В ИЗМЕНЕНИИ МЕДЬ-СВЯЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК В ОТВЕТ НА ИЗБЫТОК ИОНОВ МЕДИ В СРЕДЕ Никушин О.В., Мейчик Н.Р., Кушунина М.А., Николаева Ю.И.	156
THE ROLE OF MELANINS IN HEAVY METAL TOLERANCE IN LICHENS Beckett R.P., Daminova A.G., Galeeva, E.I., Minibayeva F.V.	157
СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ТКАНЯХ PICEA ОВОВАТА НА ТЕРРИТОРИИ КРИОЛИТОЗОНЫ Местникова А.А., Слепцов И.В., Рожина С.М., Михайлов В.В.	158
ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛУКА РЕПЧАТОГО НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ОСНОВНЫЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ Середин Т.М., Н.М.Ниматулаев, Марчева М.М., Карев Д.А., Молчанова А.В., Баранова Е.В., Ушакова О.В.	159

Секция 3. ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗРАСТАНИЯ РАСТЕНИЙ

EVIDENCE OF NO _x EMISSIONS FROM LAKES ON THE TIBETAN PLATEAU: A NEW REACTIVE NITROGEN SOURCE? Ying Shen, Yinghong Wang, Mengtian Cheng	160
RESEARCH ON THE CHARACTERISTICS OF OXYGENATED VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS(OVOCs) IN BEIJING AND LHASA BASED ON LONG-TERM OBSERVATION Yang Zhang, Guiqian Tang, Yinghong Wang, Mengtian Cheng	161
ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ СОРГО В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА Сатторов Б.Н., Партоев К., Кубарев Е.Н., Кибальник О.П.	162
УРОЖАЙНОСТЬ НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ЧЕЧЕВИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ Суворова Г.Н., Иконников А.В.	165
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ГОРОХА С РАЗЛИЧНЫМ МОРФОТИПОМ ЛИСТА Соболева Г.В., Соболев А.Н.	166
СВЕТОВОЙ РЕЖИМ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СКРИНИГА ПРИ ФЕНОТИПИРОВАНИИ РАСТЕНИЙ Тараканов И.Г., Анисимов А.А., Ларикова Ю.С.	167
ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ ПО ПРИЗНАКУ АЛЮМОУСТОЙЧИВОСТИ Бакулина А.В., Бессолицына Е.А., Шуплецова О.Н.	168

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ И ВОЗРАСТА ДЕРЕВЬЕВ НА ТРАНСПОРТ УГЛЕРОДА ПО ФЛОЭМЕ В КОРНЕВЫЕ СИСТЕМЫ И ПОЧВУ	
Тарелкина Т.В., Серкова А.А., Галибина Н.А., Теслюк И.А., Софронова И.Н., Новицонок Е.В., Качанова Е.В., Семенова Л.И.	169
ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА У РАСТЕНИЙ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ОТХОДАХ ПРИМЕНЯТЕЛЬНО К ОРАНЖЕРЕЯМ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ ЭКОДОМОВ	
Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Величко В.В., Тихомирова Н.А., Трифонов С.В.	171
ФОТОПЕРИОДИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ РУКОЛЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ	
Фадеева Ю.Ю., Тараканов И.Г.	172
РЕАКЦИЯ ОБРАЗЦОВ ВИГНЫ (<i>VIGNA UNGUICULATA</i>) НА НИЗКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	
Фотев Ю.В., Ломако И.С., Сунь Ц.	174
НАРУШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ КАМБИАЛЬНЫХ КЛЕТОК В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ РОСТА НА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ	
Машуков Д.А., Бенькова А.В.	175
УГЛЕКИСЛОТНЫЙ ГАЗООБМЕН ТИПИЧНЫХ ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ	
Петров Р.Е., Карсанаев С.В., Максимов А.П., Максимов Т.Х.	176
ОЦЕНКА ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ СИМБИОНТОВ ПЕРИСТЫХ МХОВ МЕТОДАМИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ МЕТАГЕНОМИКИ НА ПЛАТФОРМАХ 2-ГО И 3-ГО ПОКОЛЕНИЙ СЕКВЕНИРОВАНИЯ	
Зайцев П.А., Родин В.А., Зайцева А.А., Зверева М.Э., Лобакова Е.С.	177
АНАЛИЗ МЕТАБОЛИТОВ В ЛИСТЬЯХ <i>SOLANUM LYCOPERSICUM</i> L В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ	
Мотылева С.М., Винокур М.В., Ямилева Э.М.	178
ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СЕЛЕНОМ И КРЕМНИЕМ НА СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНИ	
Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А., Федорова Е.А.	179
ЦВЕТОЧНЫЕ КУЛЬТУРЫ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ	
Панфилова О.Ф.	180
ОБЛУЧЕНИЕ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНИ ЦЕЗИЮМ-137 В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА	
Партоев К., Сатторов Б.Н., Муминов С.В.	181
О СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ В ТАДЖИКИСТАНЕ	
Партоев К., Сатторов Б.Н.	183
ИЗМЕНЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И УРОЖАЙНОСТЬ ОВСА ПОСЕВНОГО В ЯКУТИИ	
Петрова Л.В.	185
СРАВНЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ C3 (<i>CHENOPodium QUINOA</i>) И C3-C4 (<i>SEDOBASSIA SEDOIDES</i>) К КОМБИНИРОВАННОМУ ДЕЙСТВИЮ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЗАСОЛЕНИЯ	
Прокофьева М.Ю., Раҳманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Сайдова Л.Т., Воронин П.Ю.	187
ПРОДУКТИВНОСТЬ МАРШЕВЫХ ЛУГОВ НА ЮГЕ САХАЛИНА (ЗАЛИВ АНИВА)	
Рожкова-Тимина И.О.	188

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ КИТАЙСКОЙ ЛИСТОВОЙ КАПУСТЫ НА РАЗЛИЧНЫЕ УРОВНИ PPFD: МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ <i>Романенко М.Д., Тараканов И.Г.</i>	189
ИНГИБИТОР КАСПАЗЫ-3 ПОДАВЛЯЕТ ЗАПРОГРАММИРОВАННУЮ ГИБЕЛЬ КЛЕТОК, ВЫЗВАННУЮ САМОНЕСОВМЕСТИМОСТЬЮ, В ПЫЛЬЦЕВЫХ ТРУБКАХ PETUNIA HYBRIDA E. VILM И SOLANUM PENNELLII CORRELL <i>Захарова Е.В., Молчанова Т.П., Голиванов Я.Ю.</i>	190
АНАЛИЗ ГЕНОВ РОДОПСИНОВ ИОННЫХ КАНАЛОВ В КОЛЛЕКЦИОННЫХ ШТАММАХ И ПРИРОДНЫХ ИЗОЛЯТАХ ВОДОРОСЛЕЙ CHLOROPHYTA И CRYPTOPHYTA БЕЛОГО И ЧЕРНОГО МОРЁЙ <i>О. В. Карпова, Е. Н. Виноградова, Е. С. Лобакова</i>	191
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА <i>Кашулин П.А., Калачева Н.В.</i>	193
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ ДЛИННОЗЕРНОГО СОРТА РИСА <i>Ковалев В.С., Скаженник М.А., Оглы А.М., Пшеницына Т.С.</i>	194
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ ИЗ МИКРОКЛОНОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ <i>Колесникова Е.О., Пономарева С.В., Бердников Р.В.</i>	195
ГАЗООБМЕН CO ₂ МЕЖДУ ТРОПИЧЕСКИМ ГОРНЫМ ЛЕСОМ И АТМОСФЕРОЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ НАГОРЬЕ ВЬЕТНАМА <i>Курбатова Ю.А., Авилов В.К., Амиров Ф.О., Динь Ба Зуи, Иванов Д.Г., Мыслицкая Н.А.</i>	196
РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ - СИМБИОНТОВ ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫХ МХОВ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ (IN SITU И IN VITRO) <i>Лобакова Е.С., Федоренко Т.А., Зайцева А.А., Карпова О.В., Шибзухова К.А., Бутаева Г.Б., Горелова О.А.</i>	197
ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ПЕССИМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПРИЗНАКИ SOLANUM TUBEROZUM L. <i>Лыкова Н.А.</i>	198
ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ <i>Лянгузова И.В., Катютин П.Н.</i>	199
МЕЗОФИЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ РАСТЕНИЙ ЯКУТИИ <i>Максимов А.П., Григорьев М.Р., Максимов Т.Х.</i>	200
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ PUNICA GRANATUM К ЗАСОЛЕНИЮ <i>Алиева З.М., Алибегова А.Н., Сайдова С.Б.</i>	201
РОСТ, ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ ЛИСТОВОГО САЛАТА В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МИКРОПЛАСТИКОМ <i>Икконен Е.Н., Репкина Н.С., Бахмет О.Н.</i>	202
СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ОТДАЛЕННЫХ ГИБРИДОВ ГОРОХА РАЗЛИЧНОГО МОРФОТИПА <i>Башкирова К.А., Бобков С.В.</i>	203

СТРУКТУРА БОКОВЫХ КОРНЕЙ ЛУКА И ЧЕСНОКА И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ АЗОТНОГО ЦИКЛА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА АЗОТА Бетехтина А.А., Малева М.Г., Воропаева О.В.	204
ГОРНОЕ МЕРЗЛОТОЕ БОЛОТО С КАРЛИКОВЫМИ ЛИСТВЕННИЦАМИ КАЯНДЕРА: МОНИТОРИНГ КИСЛОРОДА И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ Алфимов А.В., Берман Д.И., Бочарова У.И.	205
ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОСНОВНЫХ ГИНЗЕНОЗИДОВ В ЛИСТЬЯХ И КОРНЯХ ЖЕНЬШЕНЯ (PANAX GINSENG C. MEYER) IN SITU И В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ Маханьков В.В., Бурундукова О.Л.	206
ВЗАИМОСВЯЗЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ У ГОРОХА И ЧЕЧЕВИЦЫ Гурьев Г.П.	208
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ КАК ПРИЕМ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ НУТА Донская М.В.	209
РОСТ РАСТЕНИЙ ЧИНЫ В СМЕШАННЫХ ПОСЕВАХ Донской М.М., Наумкин Д.В.	210
ПРОДУКТИВНОСТЬ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И КУСТАРНИКОВОГО ЯРУСА ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ БРУСНИЧНОЙ ГРУППЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ Ефимова А.П., Алексеев К.В., Слепцов А.А.	211
ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ PADUS AVIUM L. В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВОГО КЛИМАТА ЯКУТИИ Сабарайкина С.М.	213
РОД SPIRAEA L. КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПОСТАВЩИК ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ В ЯКУТИИ Коробкова Т.С.	214
Секция 4 и 5. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ГИБРИДНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ; ФИТОБИОТЕХНОЛОГИИ В ОТВЕТ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ	
НЕИНВАЗИВНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ЗИМНЕГО ПОКОЯ ЛИСТОПАДНЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ИНДУКЦИОННЫХ КРИВЫХ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА НА ПРИМЕРЕ ЯБЛОНИ (MALUS × DOMESTICA BORKH) Соловченко А.Е., Шурыгин Б.М., Конюхов И.В., Хрущев С.С.	215
САМОЛЕТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ CO ₂ НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИЕЙ Алексеева А.В., Григорьев М.Р., Петров Р.Е., Старостин Е.В., Максимов Т.Х.	217
ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВОВ РИСА НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ Скаженник М.А., Гаркуша С.В., Чижиков В.Н., Петрушин А.Ф., Митрофанов Е.П., Балясный И.В., Пшеницына Т.С.	218
БИОГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЗЕЛЕНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА КОМПОЗИТАХ ИЗ ХИТОЗАНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД Васильева С.Г., Лобакова Е.С., Горелова О.А., Лукьянов А.А., Щербаков П.Н., Соловченко А.Е.	220

МУТАНТНЫЕ ШТАММЫ CEREIBACTER SPHAEROIDES, ОБЛАДАЮЩИЕ СПОСОБНОСТЬЮ К ПОВЫШЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТРИПЛЕТОВ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛОВ Фуфина Т.Ю., Проскуряков И.И., Васильева Л.Г.....	221
ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ РОСТА КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ ЭКСПЛАНТОВ РАЗНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ Головацкая И.Ф., Попов Д.С., Прокопенко В., Кадырбаев М.К., Медведева Ю.В., Бойко Е.В., Лаптев Н.И.....	222
БИОГЕОТЕХНОЛОГИЯ, БИОСФЕРОПОДДЕРЖИВАЮЩЕЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, «ПАКЕТЫ ТЕХНОЛОГИЙ» И 25-ЛЕТНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО РОССИИ Душков В.Ю.....	223
БИОГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОТИВОСТОЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОМУ ПОТЕПЛЕНИЮ НА ПРИМЕРЕ «ПАКЕТА ТЕХНОЛОГИЙ» ДЛЯ САФЛОРА КРАСИЛЬНОГО Душков В.Ю., Чекалин С.Г., Кушнир А.С.	225
БИОГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ, «ПАКЕТЫ ТЕХНОЛОГИЙ», АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 50-ЛЕТНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЛУПУСТЫНЕ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПАЛЛАСОВСКОГО РАЙОНА ВОЛГОГРАДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ) Душков В.Ю., Глинянов В.С., Душков Б.Ю., Ишин А.Г.....	227
МИТОХОНДРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМИДЫ ZEA MAYS КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕЗИДЕНТНОГО ВЕКТОРА ДЛЯ ТРАНСФОРМАЦИИ МИТОХОНДРИЙ Константинов Ю.М., Горбенко И.В.	229
РЕГИСТРАЦИЯ НИКТИНАСТИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОЛУЧАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ Котов Г.Е., Анташкевич А.А., Слепцов Н.Н., Тараканов И.Г.	230
ВЛИЯНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ШТАММА BACILLUS SUBTILIS 3Н НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ У РАСТЕНИЙ SOLANUM TUBEROSUM М. В. Кузнецова, В.В. Федяев, Р. Г. Фархутдинов	231
ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТООБРАЗЦОВ ТРИТИКАЛЕ НА ФОНЕ ИСКУССТВЕННО МОДЕЛИРУЕМОГО СТРЕССА Лагметова Н.А., Алиева З.М.	232
СПОСОБНОСТЬ МИКРОВОДОРОСЛИ DESMODESMUS SP. IPPAS S-2014 К ДЕСТРУКЦИИ МЕЛАНОИДИНОВ САХАРНОЙ МЕЛАССЫ Лукьянов А.А., Федоренко Т.А., Дольникова Г.А., Мартысюк М.Г., Козлов М.Д., Лобакова Е.С.	233
БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ БЕРЕЗОВОГО БИОЧАРА И ГАЛОТОЛЕРАНТНОГО ШТАММА PGP-РИЗОБАКТЕРИЙ СТИМУЛИРУЕТ РОСТ И ПОВЫШАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ BRASSICA JUNCEA (L.) CZERN К ЗАСОЛЕНИЮ Малева М.Г., Борисова Г.Г., Авраменко А.В., Салата А.А.Х.....	234
ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕВОДНЫХ ФРАГМЕНТОВ ГЛИКОЗИЛИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ Михайлова А. А., Петрова Н. В., Микшина П. В.....	236
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОХОВЫХ И ЛИШАЙНИКОВЫХ ЛОВУШЕК ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ АРКТИКИ Опекунова М.Г., Никулина А.Р., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Лисенков С.А.	237

АНОМАЛЬНЫЕ СВЕТО-ТЕМНОВЫЕ ЦИКЛЫ ИЗМЕНЯЮТ ЗАВИСИМОСТЬ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ ОТ ИНТЕГРАЛА ОСВЕЩЕНИЯ Рубаева А.А., Шибаева Т.Г., Шерудило Е.Г., Левкин И.А., Титов А.Ф.	238
ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФУНГАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КОРОТКИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЕПТИДОВ-ПРОИЗВОДНЫХ АМП ТАВОЛГИ Слезина М.П., Абашина Т.Н., Одинцова Т.И.	239
НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА ВЛИЯЮТ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ И ПОВЫШАЮТ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГУРЦА Снигур М.Г., Нарайкина Н.В., Дерябин А.Н., Попов В.Н., Жукова К.В., Кочетков И.М., Венжик Ю.В.	241
ИНИЦИАЦИЯ ЭМБРИОГЕННОЙ ТКАНИ У PINUS SIBIRICA В КУЛЬТУРЕ IN VITRO В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ЗИГОТИЧЕСКОГО ЗАРОДЫША Третьякова И.Н., Лукина А.В., Носкова М.А., Помыткин Н., Пак М.Э.	242
КРИТЕРИИ СЕЛЕКЦИИ ЭМБРИОГЕННЫХ КЛЕТОЧНЫХ ЛИНИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ М.Э. Пак, И.Н. Третьякова	243
ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ КУМАРИНОВ В РАСТЕНИИ И В КУЛЬТУРАХ КЛЕТОК Ханды М.Т., Григорчук В.П., Горпенченко Т.Ю.	244
ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В РАСТЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE Чирикова Н.К., Оленников Д.Н.	245
ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ ПЛАЗМОЙ ВОДЫ, ПОЛУЧЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ, НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН МОРКОВИ РАЗНЫХ СОРТОТИПОВ Минич А.С., Минич И.Б.	246
SECONDARY METABOLITES CHARACTERIZATION AND IN VITRO TISSUE CULTURE OF GLEHNIA LITTORALIS FROM THE RUSSIAN FAR EAST Adamu U.M., Khandy M.T., Grigorchuk V.P., Gorpenchenko T.Y.	247

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

**Всероссийская научная конференция с международным участием
«РАСТЕНИЯ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ:
АДАПТАЦИЯ, УСТОЙЧИВОСТЬ И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС»,
Годичное собрание ОФР
Место проведения: г. Якутск, ул. Петровского, 2
(Якутский научный центр СО РАН (ЯНЦ СО РАН))**

Сайт конференции: <https://prez.ysn.ru/nauchnaya-konferencziya/>

E-mail: ofr_ykt@mail.ru

Онлайн трансляция конференции: <https://yakutsk.ktalk.ru/tyfihnyso0uo>

Дата: 24.06.2025 (вторник)

Приезд участников в Якутск. Заселение в гостиницы города.

НАУЧНЫЕ СЕКЦИИ:

1. Углеродное питание растений в контексте глобальных изменений климата;
2. Адаптация и молекулярно-физиологические механизмы устойчивости растений к изменяющимся условиям среды;
3. Продукционный процесс и экологические условия произрастания растений;
4. Фитобиотехнологии в ответ на глобальные вызовы современности.

Дата 25.06.2025 (среда)

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)	
09:00–13.00	Регистрация участников конференции (в центральном холле 2 этажа, рядом с актовым залом)	
10:00–10:45	Открытие конференции Председатель — Лебедев Михаил Петрович, академик РАН	Выступление членов Программного и Организационного комитетов
10:45–11:00	Выступление спонсора «СкайДжин», представитель «Серебряного» спонсора	
11:00–13:00	ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ Кураторы — Кузнецов Владимир Васильевич, академик РАН Лебедев Михаил Петрович, академик РАН	
11:00–11:30	Максимов Трофим Христофорович, Якутский научный центр СО РАН, Якутск Организация системы климатических и биогеохимических исследований изменений экосистем в якутском секторе криолитозоны: результаты и перспективы	

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
11:30–12:00	Жегусов Юрий Иннокентьевич Якутский научный центр СО РАН, Якутск История и культура народа Саха
12:00–12:30	Нохсоров Василий Васильевич Якутский научный центр СО РАН, Якутск История развития физиологии и биохимии растений в Якутии
12:30–13:00	Грабельных Ольга Ивановна Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск Температурный фактор в жизни растений: роль митохондрий в процессах адаптации и гибели
13:00–14:30	Обед
14:30–16:00	Секция 1. Углеродное питание растений в контексте глобальных изменений климата Кураторы — Максимов Трофим Христофорович, Петров Роман Егорович
14:30–14:45	Куричева Ольга Алексеевна Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова, Москва Чистый обмен углекислого газа экосистем и атмосферы в дневное время по данным сети RuFlux
14:45–15:00	Мамкин Вадим Витальевич Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва Экосистемные потоки CO ₂ болот южной и средней тайги европейской части России и Западной Сибири по данным эколого-климатических станций
15:00–15:15	Прокушкин Анатолий Станиславович Институт леса им. В. Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск Роль мохово-лишайникового яруса в балансе углерода лиственничников криолитозоны Средней Сибири
15:15–15:30	Икконен Елена Николаевна Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск Экологическая роль биоминерализации в растениях, как неучтенного стока атмосферного углерода
15:30–15:45	Киселева Ирина Сергеевна Уральский федеральный университет (УрФУ), Екатеринбург Сезонная и возрастная динамика фотосинтетических и секвестрационных характеристик хвойных древесных растений карбонового полигона «Урал-Карбон»
15:45–16:00	Козулева Марина Алексеевна Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино Не только цикл Кальвина: роль неорганического углерода в регуляции скорости световых реакций фотосинтеза
16:00–17:00	Секция 2.1. Адаптация и молекулярно-физиологические механизмы устойчивости растений к изменяющимся условиям среды Кураторы — Грабельных Ольга Ивановна, Казнина Наталья Мстиславовна
16:00–16:15	Озолина Наталья Владимировна Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск Сравнение специфических и неспецифических изменений липидов пограничных мембран при разных видах абиотического стресса

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
16:15–16:30	Цюпка Валентина Анатольевна Никитский ботанический сад-Национальный научный центр, Ялта Подбор системы праймеров для количественной оценки уровня экспрессии генов, ассоциированных с устойчивостью к низким температурам сортов <i>Olea europaea L.</i>
16:30–16:45	Бычков Иван Александрович Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва Роль мелатонина в регуляции дыхания у мутантов <i>Arabidopsis thaliana</i> по генам рецепции и синтеза брацисиостероидов
16:45–17:00	Бурундукова Ольга Леонидовна ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток Изменчивость содержания и качественного состава основных гинзенозидов в листьях и корнях женьшеня (<i>Panax ginseng C. Meyer</i>) <i>in situ</i> и в условиях искусственной плантации
17:00–17:30	Кофе-брейк (2 этаж,entralnyy hall перед актовым залом)
17:30–18:45	ФЛЭШ-ПРЕЗЕНТАЦИИ Кураторы — Петров Роман Егорович, Нохзоров Василий Васильевич
17:30–17:35	Полосухина Дарья Александровна Институт леса им. В. Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск Соотношение стабильных изотопов углерода в мохово-лишайниковом ярусе лиственничников криолитозоны средней Сибири
17:35–17:40	Григорьев Марат Робертович Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Особенности углеродного газообмена древесных растений Якутии
17:40–17:45	Кусакин Пётр Глебович Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург Анализ участающих в модификации клеточных стенок генов в различных зонах клубеньков гороха
17:45–17:50	Васильева Ирина Вениаминовна Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Участие дегидринов в устойчивости бересклета к контрастным природно-климатическим условиям Севера
17:50–17:55	Агълямова Алия Рамилевна Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань Углевод-связывающие белки льна: потенциальные регуляторы роста и развития растения
17:55–18:00	Слепцов Игорь Витальевич Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Аллелопатическое воздействие эпифитных лишайников на ростовые и биохимические процессы <i>Larix cajanderi</i> на территории криолитозоны
18:00–18:05	Золин Юрий Александрович Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород Новый комбинированный индекс отражения, чувствительный к величине нециклического потока электронов в условиях светового, водного и температурного стресса у гороха

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
18:05–18:10	Михайлов Владислав Васильевич Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Сезонная динамика накопления метаболитов в тканях <i>Pinus sylvestris</i> на территории Северо-Восточной части криолитозоны
18:10–18:15	Старостин Егор Вячеславович Якутский научный центр СО РАН, Якутск Сезонные и годовые колебания изотопного состава азота в хвое <i>Larix cajanderi</i> на экотоне тайга-тундра на Северо-Востоке России
18:15–18:20	Михайлова Анжела Андреевна Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань Характеристика углеводных фрагментов гликозилированных растительных белков
18:20–18:25	Никушин Олег Витальевич Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва Роль гистидина и глутамина в изменении медь-связывающей способности клеточных стеклокомплексов в ответ на избыток ионов меди в среде
18:25–18:30	Лексин Илья Юрьевич ФИЦ КазНЦ РАН, Казань Стрессовый ответ лишайников к обезвоживанию и регидратации: сравнение транскрипционных профилей микробионтов лишайников <i>Lobaria pulmonaria</i> и <i>Xanthoria parietina</i>
18:30–18:35	Кирюшкин Алексей Сергеевич Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург Что могут рассказать пептидные гормоны об архитектуре корневой системы Тыквенных?
18:40–18:45	Белоциченко Елена Сергеевна Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток Устойчивость к фотоокислительному стрессу морских красных водорослей <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> и <i>Chondrus pinnulatus</i> : влияние зимней и летней температурной преакклиматации
18:45–19:15	Общая фотография в зале
19:15–21:30	Приветственный фуршет (ресторан «Муус Хайя», ул. Петровского, 13)

Дата 26.06.2025 (четверг)

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
09:00–13:00	Регистрация участников конференции (в центральном холле 2 этажа, рядом с актовым залом)
09:30–10:30	ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ Кураторы — Веселов Дмитрий Станиславович, Соловченко Алексей Евгеньевич
09:30–10:00	Кузнецов Владимир Васильевич, академик РАН Институт физиологии растений РАН, Москва Растение и стресс: физиологические и молекулярные механизмы адаптации

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
10:00–10:30	Софронова Валентина Егоровна, Якутский научный центр СО РАН, Якутск Фотозащитные механизмы вечнозеленых растений при низкотемпературной адаптации в условиях Центральной Якутии
10:30–11:30	Секция 2.2. Адаптация и молекулярно-физиологические механизмы устойчивости растений к изменяющимся условиям среды Кураторы — Головко Тамара Константиновна, Шибаева Татьяна Геннадиевна
10:30–10:45	Кулуев Булат Разяпович Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН, Уфа Роль экспансинов в адаптации растений к абиотическому стрессу
10:45–11:00	Петрова Наталья Валентиновна Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань Рекомбинантный амарантин льна: моделирование структуры и анализ посттрансляционных модификаций
11:00–11:15	Егорова Алевтина Михайловна Казанский институт биохимии и биофизики, Казань Хитиназа-подобные белки в корнях гороха
11:15–11:30	Макарова Людмила Евгеньевна Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск О роли N-фенил-2-нафтамина в физиологических процессах растений гороха (<i>Pisum sativum L.</i>)
11:30–12:00	Кофе-брейк (2 этаж, центральный холл перед актовым залом)
12:00–12:15	Шибаева Татьяна Геннадиевна Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск Фотопериодический стресс у растений: от экспериментов к практике
12:15–12:30	Коротаева Наталья Евгеньевна Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск Белки-ингибиторы рекристаллизации льда в развитии морозоустойчивости <i>Triticum aestivum L.</i>
12:30–12:45	Казнина Наталья Мстиславовна ФИЦ «Карельский научный центр РАН, Петрозаводск Использование многолетних злаков для ремедиации загрязненных тяжелыми металлами северных территорий
12:45–13:00	Пономарев Анатолий Гаврильевич Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Устойчивость древесных растений к экстремально низким температурам
13:00–14:30	Обед
14:30–17:30	Секция 2.3. Адаптация и молекулярно-физиологические механизмы устойчивости растений к изменяющимся условиям среды Кураторы — Кулуев Булат Разяпович, Софронова Валентина Егоровна

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
14:30–14:45	Табаленкова Галина Николаевна Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар Оводненность и температура фазового перехода вода-лед и метаболическая активность почек голосеменных и покрытосеменных растений в осенне-зимний период
14:45–15:00	Веселова Светлана Викторовна Институт биохимии и генетики, Уфа Роль микроPHK-408 и микроPHK-159 в защитном ответе растений пшеницы на инфицирование грибным патогеном <i>Stagonospora nodorum</i> (Berk.)
15:00–15:15	Топоркова Яна Юрьевна Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань Обнаружение беспрецедентного 16-липоксигеназного пути в растениях огурца и льна
15:15–15:30	Малева Мария Георгиевна Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург Биоудобрение на основе березового биочара и галотолерантного штамма PGP-ризобактерий стимулирует рост и повышает устойчивость <i>Brassica juncea</i> (L.) Czern к засолению
15:30–15:45	Горина Светлана Сергеевна Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань Метаболизм оксилипинов в <i>Eleusine coracana</i> : обнаружение фермента с множественной активностью
15:45–16:00	Еговцева Анна Юрьевна Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, пгт. Гвардейское Влияние растительного субстрата и целлюлозолитической ассоциации на таксономическую структуру микробиома чернозема южного
16:00–16:15	Ефимова Марина Васильевна, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск Регуляция защитных систем рапса брацисиостероидами при хлоридном засолении
16:15–16:30	Цюпка Сергей Юрьевич Никитский ботанический сад-Национальный научный центр, Ялта Оценка морфо-физиологических признаков листьев <i>Olea europaea</i> L., ассоциированных с признаком засухоустойчивости в качестве биомаркеров для селекции
16:30–16:45	Цыганова Анна Викторовна Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург Видовая специфичность формирования симбиотического интерфейса в азотфиксирующих клубеньках
16:45–17:00	Таскина Ксения Борисовна ФИЦ «Карельский научный центр РАН, Петрозаводск Ответная реакция злаков с разным типом фотосинтеза на натрий-хлоридное засоление
17:00–17:15	Маркова Юлия Александровна Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск Таксономическая структура ризосферного микробиома эндемичного растения прибайкалья <i>Hedysarum zundukii</i> Peschkova

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
17:15–17:30	Бетехтина Анна Анатольевна УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург Структура боковых корней лука и чеснока и количественная оценка ризосферных бактерий азотного цикла в условиях дефицита азота
17:30–18:00	Кофе-брейк (2 этаж, центральный холл перед актовым залом)
18:00–19:00	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ Кураторы — Веселов Дмитрий Станиславович, Петров Роман Егорович (2 этаж, фойе)

Дата 27.06.2025 (пятница)

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
09:00–10:00	ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ Кураторы — Цыганов Виктор Евгеньевич, Константинов Юрий Михайлович
09:00–09:30	Веселов Дмитрий Станиславович Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа Роль апопластных барьеров в соле- и засухоустойчивости растений
09:30–10:00	Минибаева Фарида Вилевна Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань Вторичные метаболиты лишайников: от биохимии до геномики
10:00–13:00	Секция 2.4. Адаптация и молекулярно-физиологические механизмы устойчивости растений к изменяющимся условиям среды Кураторы — Демченко Кирилл Николаевич, Фархутдинов Рашид Габдулхаевич
10:00–10:15	Фархутдинов Рашид Габдулхаевич Уфимский университет науки и технологий, Уфа Влияние метаболитов штамма <i>Bacillus subtilis</i> ^{3H} на физиолого-биохимические процессы у растений <i>Solanum tuberosum</i>
10:15–10:30	Соловченко Алексей Евгеньевич Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва Неинвазивное зондирование глубины зимнего покоя листопадных растений с помощью частотного анализа индукционных кривых флуоресценции хлорофилла на примере яблони (<i>Malus × domestica</i> Borkh).
10:30–10:45	Середин Тимофей Михайлович Федеральный научный центр овощеводства, Московская область, Одинцовский городской округ, пос. ВНИМССОК Влияние эколого-географических условий выращивания лука репчатого на биохимические показатели и основные хозяйствственно-ценные признаки
10:45–11:00	Татаринова Татьяна Дмитриевна Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Дегидрины в адаптации древесных растений к природным условиям криолитозоны Якутии

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
11:00–11:30	Кофе-брейк (2 этаж, центральный холл перед актовым залом)
11:30–11:45	Демченко Кирилл Николаевич Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург Ответы на вызовы: разнообразие программ ветвления корневых систем как источник новых данных для селекционного процесса
11:45–12:00	Пшибытко Наталья Лёггиновна Белорусский государственный университет, Минск Характеристика фотосинтетических реакций в проростках <i>Hordeum vulgare</i> при воздействии <i>Fusarium culmorum</i> . Оценка эффективности прайминга растений холодной плазмой атмосферного разряда
12:00–12:15	Richard Peter Beckett Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, Kazan, Russia; School of Life Sciences, University of KwaZulu Natal, South Africa The role of melanins in heavy metal tolerance in lichens
12:15–12:30	Хрущев Сергей Сергеевич Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва Регуляция фотосинтетического линейного электронного транспорта цитохромным b_6f комплексом: простые механизмы сложного ответа
12:30–12:45	Цыганов Виктор Евгеньевич Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург Реорганизация тубулинового цитоскелета при развитии азотфикссирующих клубеньков
12:45–13:00	Головко Тамара Константиновна Институт биологии Коми научного центра УрО РАН ФИЦ «Коми научный центр УрО РАН», Сыктывкар Фотосинтез и дыхание C3-, C4- и CAM-растений в условиях повышения температуры на Севере
13:00–14:30	Обед
14:30–15:00	Секции 2.4. Адаптация и молекулярно-физиологические механизмы устойчивости растений к изменяющимся условиям среды
14:30–14:45	Иванова Лариса Анатольевна Тюменский государственный университет, Тюмень Функциональные черты и углеродный баланс листьев сорных растений как индикаторы вредоносности в агроценозах
14:45–15:00	Вильянен Дарья Валентиновна Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино Новые аспекты исследования фотосинтетического контроля в высших растениях <i>in vitro</i>
15:00–17:00	Секция 3.1. Продукционный процесс и экологические условия произрастания растений Кураторы — Киселева Ирина Сергеевна, Ефимова Марина Васильевна
15:00–15:15	Yang Zhang Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China Research on the characteristics of oxygenated volatile organic compounds (OVOCs) in Beijing and Lhasa based on long-term observation

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
15:15–15:30	Лобакова Елена Сергеевна Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва Разнообразие цианобактерий — симбионтов листостебельных мхов Карельского берега Белого моря (<i>in situ</i> и <i>in vitro</i>)
15:30–15:45	Тихомиров Александр Аполлинарьевич Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск Особенности производственного процесса у растений при культивировании на минерализованных отходах применительно к оранжереям для северных экодомов
15:45–16:00	Ying Shen Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China Evidence of NOx emissions from lakes on the Tibetan plateau: a new reactive nitrogen source?
16:00–16:15	Захарова Екатерина Владимировна Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, Москва Ингибитор каспазы-3 подавляет запрограммированную гибель клеток, вызванную самонесовместимостью, в пыльцевых трубках <i>Petunia hybrida</i> E. Vilm. и <i>Solanum pennellii</i> Correll
16:15–16:30	Рожкова-Тимина Инна Олеговна ФГБОУ ВО Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск Продуктивность маршевых лугов на юге Сахалина (залив Анива)
16:30–16:45	Виноградова Елизавета Николаевна, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова; Курчатовский институт, НБИКС Геномный центр, Москва Карпова Ольга Валентиновна Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва Анализ генов родопсинов ионных каналов в коллекционных штаммах и природных изолятах водорослей <i>Chlorophyta</i> и <i>Cryptophyta</i> Белого и Черного морей
16:45–17:00	Петров Роман Егорович Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Углекислый газообмен типичных тундровых экосистем Северо-Востока России
17:00–17:30	Кофе-брейк (2 этаж, центральный холл перед актовым залом)
17:30–18:15	Продолжение секции 3.2. Продукционный процесс и экологические условия произрастания растений Кураторы — Минибаева Фарида Вильевна, Хрущев Сергей Сергеевич
17:30–17:45	Коробкова Татьяна Сергеевна Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Род <i>Spiraea</i> L. как возможный поставщик лекарственного сырья в Якутии
17:45–18:00	Кайгородова Ирина Михайловна Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства»; АО «Концерн ГРАНИТ» Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК Влияние агроклиматических условий и дистанционной обработки аппаратом «TOP» на репродуктивные функции <i>Vicia faba</i> L.

Время	Мероприятие (актовый-зал, 2 этаж)
18:00–18:15	Сабарайкина Светлана Михайловна Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск Оценка адаптивной способности черемухи обыкновенной <i>Padus avium</i> L. в условиях засушливого климата Якутии
18:15–19:00	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ <i>(2 этаж, фойе)</i> Кураторы — Софронова Валентина Егоровна, Нохсоров Василий Васильевич

Дата 28.06.2025 (суббота)

Время	Мероприятие
	Экскурсионная программа на выбор, за дополнительную оплату
07:00–08:00	Выезд участников в местность Ус-Хатын
09:00–09:30	Сбор участников, тусулгэ ФИЦ «ЯНЦ СО РАН»
11:00–13:00	Церемония открытия национального праздника «ысыах Туймаады-2025». Обед
14:00–19:00	Выезд на лесную научную станцию «Спасская падь»

Дата 29.06.2025 (воскресенье)

Время	Мероприятие
	Экскурсионная программа на выбор, за дополнительную оплату
07:00–20:00	Выезд. Ленские столбы (по отдельной Программе)
20:00	Приезд

Дата 30.06.2025 (понедельник)

Время	Мероприятие
09:00–10:00	ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ Кураторы — Лобакова Елена Сергеевна, Максимов Трофим Христофорович
09:00–09:30	Горшкова Татьяна Анатольевна Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань Интрузивный рост волокон как фактор обеспечения механической стабильности растений
09:30–10:00	Розанов Алексей Юрьевич, академик РАН Палеонтологический институт РАН, Москва Происхождение жизни на Земле

Время	Мероприятие
10:00–10:30	Секция 3.3. Продукционный процесс и экологические условия произрастания растений Кураторы — Кузнецов Виктор Васильевич, Тихомиров Александр Аполлинарьевич
10:00–10:15	Фотев Юрий Валентинович Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск Реакция образцов вигны (<i>Vigna unguiculata</i>) на низкую температуру в условиях интродукции на юге Западной Сибири
10:15–10:30	Лянгузова Ирина Владимировна Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург Влияние аэробиогенного загрязнения и климата на продуктивность древесины сосны обыкновенной на Кольском полуострове
10:30–11:00	Кофе-брейк (2 этаж, центральный холл перед актовым залом)
11:00–12:15	Секция 4. Фитобиотехнологии в ответ на глобальные вызовы современности Кураторы — Лянгузова Ирина Владимировна, Галибина Наталия Алексеевна
11:00–11:15	Константинов Юрий Михайлович Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск Митохондриальные плазмиды <i>Zea mays</i> как основа для создания комплексного резидентного вектора для трансформации митохондрий
11:15–11:30	Васильева Светлана Геннадьевна Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва Биогибридные материалы на основе зеленых микроводорослей, иммобилизованных на композитах из хитозана и целлюлозы, для биоремедиации сточных вод
11:30–11:45	Ханды Мария Терентьевна, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток Особенности накопления кумаринов в растении и в культурах клеток
11:45–12:00	Пак Мария Эдуардовна Институт леса им. В.Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск Критерии селекции эмбриогенных клеточных линий лиственницы сибирской
12:00–12:15	Слепцов Николай Николаевич ФГБОУ ВО Российской государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва Регистрация никтинастических движений листьев растений и визуализация получаемой информации
12:15–15:00	Онлайн выступления
12:15–12:30	Тарелкина Татьяна Владимировна Институт леса Карельский научный центр РАН, Петрозаводск Влияние условий произрастания и возраста деревьев на транспорт углерода по флоэме в корневые системы и почву (Онлайн выступление)
12:30–12:45	Партоев Курбанали Институт ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан О селекции пшеницы в Таджикистане (Онлайн выступление)

Время	Мероприятие
12:45–13:00	Сатторов Бахтовар Норасович Институт ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан Продуктивность сортов сорго в условиях Таджикистана (Онлайн выступление)
13:00–14:30	Обед
14:30–14:45	Brendan Rogers United States of America Woodwell Climate Research Center Falmouth, MA, USA Using carbon flux measurements to monitor and project future carbon-climate feedbacks across the Arctic-boreal zone (Онлайн выступление)
14:45–15:00	Adamu Ubaida Muhammad ПИШ АТР Биомедицины и технологии сбереженья здоровья, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток; Нигерия Secondary Metabolites Characterization and in vitro Tissue Culture of Glehnia littoralis from the Russian Far East (Онлайн выступление)
15:00–16:30	Годичное собрание ОФР. Подведение итогов конкурса научных докладов молодых учёных. Закрытие конференции.
17:00–20:00	Банquet (ресторан «Чочур Мурэн», Вилюйский тракт 7 километр, 5)
Отъезд участников	

СПИСОК СТЕНДОВ К ФЛЭШ-ПРЕЗЕНТАЦИЯМ:

Номер	ФИО докладчика	Название доклада
Ф1	Полосухина Дарья Александровна Институт леса им. В. Н. Сукачева, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск	Соотношение стабильных изотопов углерода в мохово-лишайниковом ярусе лиственничников криолитозоны средней Сибири
Ф2	Григорьев Марат Робертович Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск	Особенности углеродного газообмена древесных растений Якутии
Ф3	Кусакин Пётр Глебович Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург	Анализ участвующих в модификации клеточных стенок генов в различных зонах клубеньков гороха
Ф4	Васильева Ирина Вениаминовна Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск	Участие дегидринов в устойчивости бересклета к контрастным природно-климатическим условиям Севера
Ф5	Агълямова Алия Рамилевна Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань	Углевод-связывающие белки льна: потенциальные регуляторы роста и развития растения
Ф6	Слепцов Игорь Витальевич Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск	Аллелопатическое воздействие эпифитных лишайников на ростовые и биохимические процессы <i>Larix cajanderi</i> на территории криолитозоны

Номер	ФИО докладчика	Название доклада
Ф7	Золин Юрий Александрович Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород	Новый комбинированный индекс отражения, чувствительный к величине нециклического потока электронов в условиях светового, водного и температурного стресса у гороха
Ф8	Михайлов Владислав Васильевич Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск	Сезонная динамика накопления метаболитов в тканях <i>Pinus sylvestris</i> на территории Северо-Восточной части криолитозоны
Ф9	Старостин Егор Вячеславович Якутский научный центр СО РАН, Якутск	Сезонные и годовые колебания изотопного состава азота в хвое <i>Larix cajanderi</i> на экотоне тайги-тундра на Северо-Востоке России
Ф10	Михайлова Анжела Андреевна Казанский институт биохимии и биофизики КазНЦ РАН, Казань	Характеристика углеводных фрагментов гликозилированных растительных белков
Ф11	Никушин Олег Витальевич Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва	Роль гистидина и глутамина в изменении медь-связывающей способности клеточных стеконок в ответ на избыток ионов меди в среде
Ф12	Лексин Илья Юрьевич ФИЦ КазНЦ РАН, Казань	Стрессовый ответ лишайников к обезвоживанию и регидратации: сравнение транскриптомных профилей микобионтов лишайников <i>Lobaria pulmonaria</i> и <i>Xanthoria parietina</i>
Ф13	Кирюшкин Алексей Сергеевич Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург	Что могут рассказать пептидные гормоны об архитектуре корневой системы Тыквенных?
Ф14	Белоциценко Елена Сергеевна Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток	Устойчивость к фотоокислительному стрессу морских красных водорослей <i>Ahnfeltiopsis flabelliformis</i> и <i>Chondrus pinnulatus</i> : влияние зимней и летней температурной преакклимации

СПИСОК СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ:

Номер	ФИО основного докладчика, организация	Название доклада
C1	Местникова Анна Александровна Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск	Суточная динамика накопления первичных и вторичных метаболитов в тканях <i>Picea obovata</i> на территории криолитозоны
C2	Кузнецова Мария Вячеславовна, ООО «НВП БашИнком», Уфа	Влияние метаболитов штамма <i>Bacillus subtilis</i> 3Н на физиолого-биохимические процессы у растений <i>Solanum tuberosum</i>
C3	Кузнецов Виктор Васильевич Институт физиологии растений имени К.А. Тимирязева РАН, Москва	Мелатонин в условиях светового стресса вызывает дифференциальную экспрессию гормон-регулируемых генов
C4	Алексеева Александра Васильевна Якутский научный центр СО РАН, Якутск	Самолетные измерения сезонной динамики CO ₂ над центральной Якутией
C5	Дударева Любовь Виссарионовна Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск	Стериновый состав хвои первого года в период активного роста у некоторых видов рода <i>Picea</i>

Номер	ФИО основного докладчика, организация	Название доклада
C6	Соловченко Алексей Евгеньевич Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва	Валоризация карьерных сточных вод при выращивании растений для рекультивации угольных разрезов
C7	Максимов Айаал Петрович Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск	Мезофильная проводимость в экологических исследованиях растений Якутии
C8	Васильева Людмила Григорьевна Пущинский научный центр биологических исследований РАН, Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино	Мутантные штаммы <i>Cereibacter sphaeroides</i> , обладающие способностью к повышенной генерации триплетов бактериохлорофиллов
C9	Гудков Станислав Андреевич Университет науки и технологий МИСИС, Москва	Влияние коллоидных растворов наночастиц TiO_2 , Fe_2O_3 , NiO в низких концентрациях на морфологические и физиологические параметры проростков ячменя
C10	Яковлева Ольга Валентиновна Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва	Параметры быстрой и замедленной флуоресценции и P700 листьев деревьев в городских условиях
C11	Титов Александр Федорович Институт биологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук, Петрозаводск	Концепция управляемого стресса
C12	Лукьянов Александр Андреевич Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва	Способность микроводоросли <i>Desmodesmus</i> spp. IPPAS S-2014 к деструкции меланоидинов сахарной мелассы
C13	Гринберг Марина Антоновна ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород	Влияние ионизирующего излучения и гипомагнитных условий на электрические сигналы у растений пшеницы
C14	Холопцева Екатерина Станиславовна Институт биологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук, Петрозаводск	Физиолого-биохимические показатели горчицы сарептской и горчицы белой при действии избытка цинка и низкой температуры
C15	Немцова Юлия Александровна Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Нижний Новгород	Изучение эффектов низкодозового ионизирующего излучения у семенного потомства подорожника большого из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа
C16	Шуйская Елена Викторовна Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН, Москва	Экспрессия фотосинтетических генов <i>Chenopodium quinoa</i> при кратковременном действии абиотических стрессов

Номер	ФИО основного докладчика, организация	Название доклада
C17	Рубаева Александра Александровна Институт биологии — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук, Петрозаводск	Аномальные свето-темновые циклы изменяют зависимость роста и продуктивности растений от интеграла освещения
C18	Зыков Максим Витальевич ФИЦ КазНЦ РАН, Казань	Влияние асфальтенов на развитие корневой системы <i>Sorghum sudanense</i>

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основными негативными последствиями глобальных изменений климата на нашей планете являются повышение температуры воздуха, увеличение частоты и продолжительности засушливых периодов в ходе вегетационного сезона, повсеместное обострение пожароопасной обстановки, обострение проблем борьбы с голодом и дефицитом пресной воды и др. Особую угрозу представляет возможное нарушение структуры и функций природной среды и характера взаимодействия ее составляющих — атмосферы, биосфера, гидросфера и криолитосфера.

Изучение эколого-физиологических и молекулярных процессов у растений разных природно-климатических зон России в условиях изменения климата имеет ключевое значение в достижении национальных целей климатической доктрины Российской Федерации по сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. Только совместные усилия науки, общества и всех заинтересованных лиц могут предложить эффективные подходы для поддержания углеродного баланса и минимизации негативного влияния изменений климата на естественные и урбанизированные экосистемы, а также для восстановления нарушенных земель после лесных пожаров, нашествия насекомых и оттаивания многолетней мерзлоты, последствия которых в настоящее время не возможно предсказать.

С 24 июня по 1 июля 2025 г. впервые в г. Якутске проведена Всероссийская научная конференция с международным участием «Растения в изменяющемся климате: адаптация, устойчивость и производственный процесс» в рамках годичного собрания Общества физиологов растений России. На этом крупном научном мероприятии приняло участие около 200 ведущих ученых из многих регионов России и ряда иностранных государств. Были рассмотрены актуальные научные направления исследований в области физиологии и экспериментальной биологии растений и приняты конструктивные решения для их реализации в области: (1) углеродного питания растений в контексте глобальных изменений климата; (2) адаптации и молекулярно-физиологических механизмов устойчивости растений к изменяющимся условиям среды; (3) производственного процесса и экологических условий произрастания растений; (4) фитобиотехнологии в ответ на глобальные вызовы современности.

Российская Федерация является активным участником Парижского соглашения. Она заявила о достижении углеродной нейтральности до 2060 года. Это требует развития и перестройки промышленного производства, рынка и экономики страны, а также разработки научного обоснования достижения заявленной цели. Возникает необходимость активного использования научных достижений физиологии растений и смежных дисциплин для сопровождения приоритетных национальных проектов страны. Нужны креативные научные идеи и новые прорывные открытия в физиологии растений и, прежде всего, в области зеленой энергетики.

Синергия фундаментальной науки и общества должна быть направлена на гармонию социума и природной среды, к результату которой репрезентативные экосистемы России должны быть выведены в устойчивое русло развития в соответствии с функционированием социальной, экономической и экологической систем.

Настоящий сборник содержит тезисы докладов участников конференции, которые могут послужить основой для выявления новых векторов развития современной физиологии растений в России в условиях негативных изменений глобального климата и повсеместного техногенного загрязнения среды обитания.

Вице-президент
Общества физиологов растений России,
академик Владимир Кузнецов

Вице-президент
Общества физиологов растений России,
докт. биол. наук Трофим Максимов

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОСИСТЕМ В ЯКУТСКОМ СЕКТОРЕ КРИОЛИТОЗОНЫ: РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Максимов Т.Х.*, Петров Р.Е., Карсанаев С.В., Максимов А.П.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: tcmax@mail.ru

Ключевые слова: изменение климата, многолетняя мерзлота, экосистемы, растения

Исследованы климатические и биогеохимические особенности репрезентативных мерзлотных экосистем России, оценено состояние природной среды, выявлен характер взаимодействия всех ее частей (атмосферы, биосфера, гидросфера, криолитосфера), их влияния на биоразнообразие для осуществления прогноза возможных направлений и последствий глобальных изменений природной среды. Создана сеть международных научных станций SakhaFluxNet в репрезентативных мерзлотных лесных, лесотундровых и тундровых экосистемах на Северо-Востоке России, не имеющая мирового аналога по объему изучаемых параметров и инструментальному обеспечению.

В связи с потеплением климата нами выявлены новые виды насекомых и грибов — симбионтов, отмечено смещение ареала распространения южных видов растений с C4-типов фиксации углерода на север — отмечена трансгрессия природно-климатических зон на Северо-востоке России. Все это сильно скажется на продуктивности и углеродном обмене мерзлотных экосистем.

Нами создана глобальная база данных по составляющим углекислотного газообмена растений разных функциональных групп (хвойные, широколистственные, кустарниковые и C3-травянистые). На основе изучения 899 видов растений из 100 экспериментальных участков (от Арктики до тропиков) установлено, что фотосинтетическая деятельность и темновые дыхательные затраты растений были в три раза выше у C3-травянистых растений в Арктике, чем в тропиках, и в два раза выше на сухих участках по сравнению с влажными местообитаниями при стандартной температуре 25°C.

Главенствующим фактором повышения продуктивности растений криолитозоны при потеплении климата будет направленность педотурбационных процессов, напрямую воздействующих на круговорот основных органогенов в экосистеме. Продукционный процесс якутских популяций деревьев в условиях потепления климата будет в основном лимитирован эндогенными факторами — устьичной проводимостью, а также экзогенными — обеспеченностью растений влагой и минеральными органогенами, особенно азотом.

Благодаря многолетним мониторинговым исследованиям, в настоящее время, мы находимся на грани выявления тенденций изменения экосистем криолитозоны, дальнейшее продолжение мониторинговых исследований даст возможность близко подойти к вопросам прогноза и оценки изменения мерзлотных экосистем, деградации многолетнемерзлых грунтов и углеродной нейтральности страны.

Для увеличения поглотительной способности углерода мерзлотных экосистем России и снижения деградации многолетней мерзлоты следует пересмотреть правила по землепользованию в криолитозоне, разработать новые сельскохозяйственные, лесотехнические и лесовосстановительные технологии применимые для зоны многолетней мерзлоты. При управляемом и правильном землепользовании обширный якутский сектор криолитозоны может претендовать на роль национального донора углеродных единиц России.

FORMATION OF THE SYSTEM OF CLIMATIC AND BIOGEOCHEMICAL RESEARCH OF ECOSYSTEM CHANGES IN THE YAKUT SECTOR OF CRYOLITHOZONE: RESULTS AND PROSPECTS

Maximov T.C., Petrov R.E., Karsanaev S.V., Maximov A.P.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: climate change, permafrost, ecosystems, plants

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ФАКТОР В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ: РОЛЬ МИТОХОНДРИЙ В ПРОЦЕССАХ АДАПТАЦИИ И ГИБЕЛИ

Грабельных О.И.^{1,2*}, Побежимова Т.П.¹, Любушкина И.В.¹, Степанов А.В.¹, Федотова О.А.¹, Забанова Н.С.^{1,2}, Корсукова А.В.¹, Полякова Е.А.¹, Кириченко К.А.¹, Бережная Е.В.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», Иркутск, Россия;

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

Ключевые слова: экстремальные температуры, дыхание, митохондрии, адаптация, программируемая клеточная гибель

Температура внешней среды является важным фактором, определяющим географическое распространение растений, их рост и продуктивность. Повышение или понижение температуры влияет на функционирование митохондрий — «энергетических станций» клетки. В этих условиях усиливается взаимодействие энергетической и информационной систем клетки (Войников, 2011). Развитие окислительного стресса и разобщение окисления и фосфорилирования в митохондриях — одно из последствий действия неблагоприятных температур на растительные клетки. Наши исследования, выполненные на различных растительных объектах и при различных температурных режимах, раскрывают основные механизмы вовлечения митохондрий в процессы низкотемпературной адаптации, индуцированной термотолерантности и клеточной гибели.

Наличие у растений систем, снижающих энергетическую эффективность дыхания митохондрий (свободных жирных кислот и активируемых ими разобщающих белков и АТФ/АДФ-антипортера, альтернативной цианидрезистентной оксидазы, альтернативных ротенон-нечувствительных НАД (Ф) Н-дегидрогеназ, Ca^{2+} /пальмитат-зависимой циклоспорин А-чувствительной неспецифической митохондриальной поры), и координация их функционирования посредством сигнальных молекул (ионов кальция, АФК) представляют собой важнейшие компоненты адаптивного механизма, обеспечивающего выживаемость растений при действии неблагоприятных температур. Митохондрии участвуют и в процессе программируемой гибели при действии высоких и низких отрицательных температур. Причиной гибели служат критические изменения в соотношении вкладов цитохромного и альтернативного путей дыхания, связанные с повреждением отдельных компонентов системы окислительного фосфорилирования митохондрий, приводящим к деполяризации внутренней митохондриальной мембранны и высвобождению цитохрома с из митохондрий в цитозоль. Комплексный ответ на действие неблагоприятных температур возможен при функциональном изменении липидного и жирнокислотного состава мембран и синтезе стрессовых белков.

Поиск регуляторов энергетического метаболизма, способных обеспечить стабильную работу дыхательной цепи митохондрий и снижать негативные последствия действия экстремальных температур, является важной задачей современной физиологии растений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для СИФИБР СО РАН (рег. № НИОКТР — 125021902487-9).

TEMPERATURE FACTOR IN PLANT LIFE: THE ROLE OF MITOCHONDRIA IN ADAPTATION AND DEATH PROCESSES

Grabelnych O.I.^{1,2}, Pobezhimova T.P.¹, Lyubushkina I.V.¹, Stepanov A.V.¹, Fedotova O.A.¹,
Zabanova N.S.^{1,2}, Korsukova A.V.¹, Polyakova E.A.¹, Kirichenko K.A.¹, Berezhnaya E.V.¹

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

2 Irkutsk State University, Irkutsk, Russia;

Keywords: extreme temperatures, respiration, mitochondria, adaptation, programmed cell death

РОЛЬ АПОПЛАСТНЫХ БАРЬЕРОВ В СОЛЕ- И ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ

Веселов Д.С., Ахтямова З.А., Иванов Р.С., Кудоярова Г.Р.

Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Россия

E-mail: veselov56@mail.ru

Ключевые слова: дефицит воды, засоление, апопластные барьеры

Во многих регионах мира возделываемые растения испытывают дефицит воды из-за недостаточного количества осадков или их неравномерного выпадения (Rosa et al., 2020; Золотокрылин и др. 2020). Засоление почв распространено повсеместно и затрагивает территории более ста стран (Hammam and Mohamed, 2020).

Транспорт воды и растворенных в ней солей может происходить по апопласти, минуя мембранны (Kim et al., 2018). Несмотря на преимущества этого механизма для поглощения элементов минерального питания, присутствие токсичных соединений в почвенном растворе делает их легкое проникновение опасным, способствуя их накоплению в растениях. Неконтролируемое проникновение таких веществ предотвращается отложением гидрофобного лигнина и суберина в полосках Каспари, которые создают барьер для диффузии молекул через апопласт. Они были обнаружены и их функция была предположена более ста лет назад; их химический состав стал известен гораздо позже, а гены, ответственные за синтез лигнина и суберина и образование поясков Каспари, были открыты сравнительно недавно (Vanholme et al., 2010; Graça, 2015), что позволяет глубже проникнуть в механизм формирования апопластных барьеров.

У многих видов растений формируется не только эндодерма, но и экзодерма, представляющая собой слой клеток коры под эпидермисом корня, которые образуют пояски Каспари (Liu, Kreszies, 2023). Согласно современной модели (Barberon, 2017), пояски Каспари важны для ограничения транспорта между клетками эндодермы, тогда как пластинки суберина предотвращают поглощение веществ клетками эндодермы.

В целом, усиление апопластных барьеров является перспективным способом повышения устойчивости растений ко многим биотическим и абиотическим стрессам. Его эффективность показана, в основном путем сравнения формирования апопластных барьеров и устойчивости растений разных генотипов. Отдельные работы указывают на возможность усиления апопластных барьеров с помощью обработки (прайминга) биологически активными веществами (гормонами и такими элиситорами как хитозан), а также инокуляции ризосферы растений бактериями, способными синтезировать гормоны.

ROLE OF APOPLASTIC BARRIERS IN SALT AND DROUGHT RESISTANCE OF PLANTS

Veselov D.S., Akhtyamova Z.A., Ivanov R.S., Kudoyarova G.R.

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

Keywords: water deficit, salinization, apoplastic barriers

РАСТЕНИЕ И СТРЕСС: ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ АДАПТАЦИИ

Кузнецов Вл. В.

Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия
E-mail: vlkuzn@mail.ru

Ключевые слова: белки теплового шока, системы общей устойчивости, CAM-тип фотосинтеза, засуха, солевой стресс

В докладе обсуждается структура адаптационного процесса и двухкомпонентная природа устойчивости. Устойчивость растений определяется конститутивными и стресс-индукцируемыми защитными системами; характер их отношений является реципрокным. Первые формируются в ходе эволюции и функционируют независимо от действия стрессора, вторые — генетически детерминированы, в норме отсутствуют и формируются лишь в ответ на стресс. Адаптация характеризуется дискретностью, которая проявляется на фенотипическом, физиологическом и молекулярном уровнях. В условиях действия повреждающего фактора растение проходит две качественно различные стадии — быстрый ответ (стресс-реакцию) и долговременную (специализированную) адаптацию, которые определяются дифференциальной экспрессией генов, функционированием разных регуляторных и защитных механизмов. Стресс-реакция обеспечивает кратковременное выживание организма за счет синтеза белков шокового ответа, например, БТШ, и функционирования систем общей устойчивости. БТШ являются молекулярными шаперонами. Синтез БТШ сопровождается ингибированием метаболических путей, не лимитирующих выживание организма в экстремальных условиях. Доказано функционирование общих систем устойчивости в экспериментах по кросс-адаптации; идентифицирована их природа. Выживание растения на первом этапе адаптации инициирует формирование специализированных защитных механизмов. Эти механизмы обеспечивают переход растения к генеративному развитию и завершение онтогенеза в изменившихся условиях. В основе долговременных механизмов адаптации лежит стресс-зависимый синтез новых изозимов, защитных макромолекул и химических шаперонов. Классическим примером подобной адаптации является стресс-зависимое переключение C₃ — типа фотосинтеза на CAM, что на порядок повышает эффективность использования воды. Это достигается индукцией экспрессии гена ключевого фермента CAM-пути ФЕПКазы и созданием биохимической машины CAM фотосинтеза. Одновременно с формированием CAM-пути фотосинтеза снижается гидравлическая проницаемость клеточных мембран за счет падения уровня аквапоринов, что препятствует потере клетками воды в условиях острого водного дефицита.

Работа частично поддержана Российским научным фондом (грант 25-14-00234)

PLANT AND STRESS: PHYSIOLOGICAL AND MOLECULAR MECHANISMS OF ADAPTATION

Kuznetsov VI. V.

Timiryazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russia

Keywords: heat shock proteins, general resistance systems, CAM-type photosynthesis, drought, salt stress

ВТОРИЧНЫЕ МЕТАБОЛИТЫ ЛИШАЙНИКОВ: ОТ БИОХИМИИ ДО ГЕНОМИКИ

Минибаева Ф.В., Лексин И.Ю., Хабибрахманова В.Р., Бекетт Р.П.

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

*Email: fminibayeva@gmail.com

Ключевые слова: лишайники, стрессовая устойчивость, вторичные метаболиты, биосинтетические генные кластеры

Лишайники — симбиотические ассоциации мико- и фотобионтов, возникшие около 600 миллионов лет назад. Одной из причин такого эволюционного долголетия является их уникальная устойчивость к действию неблагоприятных факторов, в т. ч. засухи, неблагоприятных температур, длительной темноты, избыточной радиации. Среди биохимических механизмов естественной селекции лишайников особое внимание привлекает синтез и накопление в талломе защитных метаболитов. В настоящее время в лишайниках идентифицировано более 1050 вторичных метаболитов, из них около 700 уникальны для лишайников. Лишайниковые вещества вовлечены в селективный выбор симбионтов, аллелопатию, они регулируют фотосинтез, дыхание, проявляют защитные свойства, в том числе обеспечивают защиту талломов от световой радиации, патогенных бактерий и грибов, антиоксидантную защиту. Эти соединения важны также для круговорота металлов и защиты лишайников от химического загрязнения. Вторичные метаболиты по биосинтетическому происхождению и химической структуре классифицируются по таким классам соединений, как дibenзофураны, депсиды и депсилоны, нафтохионы, антрахионы, ксантоны и другие. Реализованный метаболический потенциал лишайников составляет лишь часть их возможного потенциала, предсказанного путем обнаружения биосинтетических генных кластеров (БГК). В среднем, геном микробиона лишайника содержит около 40–50 БГК, каждый из которых организован в геноме коллинеарно и участвует в синтезе одного или нескольких вторичных метаболитов. Кластер может содержать до 20 генов. Коровый ген вовлечен в синтез остова молекулы, который модифицируется вспомогательными ферментами для синтеза конечной молекулы. В лишайнике *Lobaria pulmonaria*, подверженной УФ-облучению, нами выявлены БГК, вовлеченные в синтез защитных метаболитов, в т. ч. DHN-меланина, трополоновых и нафталеновых производных, пренилированного ксантона. Выявлена со-экспрессия генов, входящих в состав БГК. В лишайнике *Xanthoria parietina* нами обнаружен БГК, участвующий в синтезе париетина, мажорного метаболита микробиона. Уникальные свойства метаболитов лишайников делают эти естественные полимеры перспективными объектами для развития «зеленой электроники», применения в медицине, биотехнологии и ремедиации.

Благодарность: Работа поддержана грантом РНФ № 23-14-00327 и проводится в рамках выполнения госзадания ФИЦ КазНЦ РАН.

SECONDARY METABOLITES OF LICHENS: FROM BIOCHEMISTRY TO GENOMICS

Minibaeva F.V., Leksin I.Yu., Khabibrakhmanova V.R., Beckett R.P.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: lichens, stress resistance, secondary metabolites, biosynthetic gene clusters

SEASONAL ACCLIMATION OF PSII IN LINGONBERRY (*VACCINIUM VITIS-IDAEA L.*) LEAVES IN THE NATURAL CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA

Sofronova V.E.

Institute for Biological Problems of the Cryolithozone, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, Yakutsk,

*E-mail: vse07_53@mail.ru

Keywords: low temperatures, JIP test, photoinhibition, heterogeneity

The evergreen shrub *Vaccinium vitis-idaea* L. is one of the most common species in the natural flora of Yakutia permafrost ecosystems. We investigated how low temperatures affect parameters of the OJIP chlorophyll *a* fluorescence transient curves to follow the seasonal acclimation of PSII in current-year leaves. The studies were conducted in natural conditions on the slope of the decay dissecting the root terrace of the left bank of the Lena River in the vicinity of Yakutsk in 2022–2023. Plants of *Vaccinium vitis-idaea* grew on the lower part of the slope (62°01'24" N, 129°35'58" E) in the herbaceous-shrub layer of a Ledum-birch-larch forest (*Larix cajanderi* Mayr). Experiments covered all the main phases of the annual cycle of growth and development of plants: active growth, different stages of hardening, as well as winter dormancy. The study presents a field characterization of the functional status and heterogeneity of PSII in *V. vitis-idaea* leaves during cold hardening in autumn, winter dormancy and recovery PSII activity after the snowmelt. The current year leaves were used in experiments.

The relative amounts of Q_B -non-reducing centers, Q_A -non-reducing centers and the rate of the RCs closure were found to increase when the temperature drops in autumn. The decrease in ψ_{E_0} and φ_{E_0} was observed, which indicates the limitation of photosynthetic electron transport activity. The fall in the average daily temperature from 0.1 to -8.1°C during October led to the increase in constitutive thermal dissipation of excess light energy, which was manifested in the increase in parameter DI_0/RC . It is concluded, that the high DI_0/RC values are due to the thermal dissipation in closed/inactive RCs and Z mediated constitutive quenching in antenna complexes. However, a significant part of the PSII in overwintering leaves retained photochemical activity. These active PSII complexes appear to play an important role in the early stages of photosynthetic recovery after snowmelt. The appearance of K-band in OJIP curves recorded during autumnal cold acclimation and after snowmelt suggests that PSII complexes may include the population of PSII devoid of active oxygen evolving complexes (OEC). The results agree with the two-step PSII photodamage model which evolves primarily from the OEC damage. The parameters related to PSII reaction centers are also the most sensitive to temperature decrease in seasonal climate.

Thus, our results deepen the understanding of the mechanisms of adaptation of the photosynthetic apparatus of evergreen plants wintering under snow.

The author expresses gratitude to Prof. T. K. Golovko, Dr. O. V Dymova (Institute of Biology, Komi Research Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences) for HPLC analysis of carotenoids.

The study was financially supported by the state assignment for IBPC SB RAS, No. AAAA1-1210121-90034-2.

ИНТРУЗИВНЫЙ РОСТ ВОЛОКОН КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ

Горшкова Т.А.*¹, Петрова А.А., Козлова Л.В.

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

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

Ключевые слова: растительные волокна, интрузивный рост, атомно-силовая микроскопия, иммуноцитохимия, транскриптомика

Волокна являются наиболее распространенным типом клеток в механических тканях растений. Для самого растения они важны как ключевые элементы поддержания архитектуры, как защита от травоядных животных и, в некоторых случаях, как клетки с сократительными свойствами, напоминающие мышцы. В то же время растительные волокна, имея утолщенные клеточные стенки, служат существенным депо усвоенного растениями углерода и являются одним из важнейших возобновляемых ресурсов, используемых в качестве сырья.

С точки зрения биологии растений, волокно представляет собой клетку веретеновидной формы и чрезвычайной длины, что достигается путем интрузивного роста. Интрузивный рост — тип роста, при котором клетка превышает скорость роста своих соседей и внедряется между ними вдоль срединной пластинки. Во время интрузивного роста клетка может удлиняться в сотни раз. Интенсивность интрузивного роста определяет конечную длину отдельных волокон, а также формирует поверхность клетки для последующего утолщения клеточной стенки. При этом, в силу объективных причин, механизмы осуществления и регуляции интрузивного роста охарактеризованы слабо, а реализующие их молекулярные игроки не установлены. С использованием атомно-силовой микроскопии, иммуноцитохимии, транскриптомики и компьютерного моделирования, мы исследовали интрузивный рост на примере ксилемных волокон гибридной осины, а также флоэмных и ксилемных волокон льна, включая *rdf* мутанты, у которых интрузивный рост нарушен, что не позволяет растению полноценно поддерживать вертикальное положение. Впервые осуществленная атомно-силовой микроскопия волокон на стадии интрузивного роста выявила анизотропию механических свойств клеточной стенки: кончики таких волокон жестче, чем их тела. Стенки клеток волокон в *rdf* жестче, чем в контроле, что соответствует более хаотичной ориентации макрофибрил целлюлозы и изменениям в составе клеточной стенки. Компьютерное моделирование помогло выяснить факторы, важные для инициации интрузивного роста. Она зависит от свойств клеточной стенки и разрываемости межклеточных контактов, а не от повышения тургорного давления, как предполагалось ранее. Профилирование транскриптомов в различных тканях стебля льна позволило выявить гены с ткане- и стадияспецифичным характером экспрессии.

Исследования поддержаны грантом РНФ 24-14-00383 и госзаданием для КИББ КазНЦ РАН

INTRUSIVE GROWTH OF FIBER AS A FACTOR ENSURING MECHANICAL STABILITY OF PLANTS

Gorshkova T.A., Petrova A.A., Kozlova L.V.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: plant fibers, intrusive growth, atomic force microscopy, immunocytochemistry, transcriptomics

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИОЛОГИИ И БИОХИМИИ РАСТЕНИЙ В ЯКУТИИ

Нохсоров В.В.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск

*E-mail: vv.nokhsorov@mail.ru

Ключевые слова: физиология растений, биохимия растений, Якутия, история.

11 июня 1952 году доктор биологических наук Всеволод Петрович Дадыкин, первый директор Института биологии, председатель Президиума Якутского филиала Академии наук СССР, создает группу по физиологии растений, которая вскоре преобразуется в лабораторию — этот период является началом исследований по физиологии растений в Якутии. Были приняты первые аспиранты, приглашены на работу специалисты по физиологии растений, кандидаты наук из Москвы и Ленинграда. С этого времени внимание лаборатории акцентируется на эколого-физиологических особенностях роста и развития растений, произрастающих на мерзлотных почвах.

Заведующими лабораторией физиологии растений в институте биологии в разные годы были: д. б. н. В. П. Дадыкин (1952–1957 гг.) — один из крупнейших исследователей жизни растений в экстремальных условиях, к. с-х. н. Н. И. Мусич (1958–1964 гг.), к. б. н. Г. П. Никитин (1964–1973 гг.) — специалист по агрофизиологическим исследованиям. В 1970 году лаборатория физиологии растений была переименована из лаборатории биохимии растений (зав. лаб., к. б. н. А. Я. Перк, 1970–73 гг.) в лабораторию физиологии и биохимии растений (зав. лаб., к. б. н. Д. В. Григорьева, 1973–1986 гг.). В 1991 году лаборатория была ликвидирована и реорганизовано в лабораторию экологии растений (зав. лаб. д. б. н. Т. Х. Максимов). В 2001 году эта лаборатория была переименовано опять в лабораторию экологической физиологии и биохимии растений. В связи с расширением направления исследований с февраля 2009 года лаборатория была переименована в лабораторию биогеохимических циклов мерзлотных экосистем. С 1991 года по сей день этими лабораториями заведует доктор биологических наук Трофим Христофорович Максимов.

За 60 лет существования экологической физиологии растений как науки в Якутии ее создавали, развивали, обогащали, открывали все новые и новые грани этой науки, исследуя агрофизиологические, экологические и биохимические особенности произрастания растений в условиях криолитозоны, более 20 кандидатов и докторов наук, в разное время внесшие свой весомый вклад в физиологию растений в холодном климате: А. Д. Егоров, А. И. Коровин, Н. И. Мусич, Г. С. Горбунова, Л. И. Растворгueva, З. С. Игумнова, П. М. Говоров, Е. Е. Торговкина, П. М. Львова, В. Н. Дохунаев, В. Г. Алексеев, В. Л. Осаковский, М. И. Мирикянов, Г. Н. Степанов, С. Р. Попов, Н. Н. Сазонов, А. Я. Перк, М. В. Новопашина, К. А. Петров, Д. К. Антипина, К. И. Ксенофонтова и др.

Таким образом, идеи В. П. Дадыкина положили начало исследованиям по экологической физиологии и биохимии растений в современной понимании. Первые работы в этой области, выполненные В. П. Дадыкиным с сотрудниками, были посвящены изучению особенностей строения и функционирования фотосинтетического аппарата растений разных обширных биоклиматических зон Якутии. Позднее эти работы были существенно развиты и углублены Г. П. Никитиным, Д. В. Григорьевой, В. Г. Алексеевым, Б. И. Ивановым, Т. Х. Максимовым с сотрудниками в рамках ряда государственных научных Программ страны. На примере большого числа видов растений разных функциональных групп были выявлены эколого-физиологи-

ческие и биохимические особенности растений Якутии в онтогенезе, а также в зависимости от почвенных и погодных условий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания ИБПК СО РАН № AAAA1-121012190034-2.

HISTORY OF DEVELOPMENT OF PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY IN YAKUTIA

Nokhsorov V.V.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk

Keywords: plant physiology, plant biochemistry, Yakutia, history.

Секция 1

УГЛЕРОДНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

РОЛЬ МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВОГО ЯРУСА В БАЛАНСЕ УГЛЕРОДА ЛИСТВЕННИЧНИКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Прокушкин А.С.*, Полосухина Д.А.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск, Россия*

E-mail: prokushkin@ksc.krasn.ru

Ключевые слова: Потоки диоксида углерода, мхи, лишайники, Средняя Сибирь

Мхи и лишайники вносят значительный вклад в первичную продукцию экосистем бореальной зоны, а также выполняют важную роль в регуляции влажности почвы, энергетического баланса, биогеохимических циклов элементов и видового разнообразия. Учитывая их важную экологическую роль необходимы более детальные исследования межгодовой и внутрисезонной динамики углеродного обмена мохово-лишайникового покрова, что особенно актуально в условиях происходящих изменений климата в высоких широтах.

Мониторинг потоков CO₂ с поверхности почвы проводится с июня по октябрь в двух северотаежных лиственничниках в окрестностях п. Тура (64° с. ш., 100° в. д.) с учетом их синузиальной структуры: на зеленомошных ($n = 9$) и лишайниковых участках ($n = 5$). Измерения базируются на использовании ИК-газоанализатора EGM5 (PP systems, USA) в двух режимах — световом и темновом. Оценка величин чистого почвенного обмена (NSE — net soil exchange) проводится с помощью световой измерительной камеры (CPY-5 Canopy Assimilation Chamber). Для мониторинга почвенного дыхания (SR) используется та же камера, но со светонепроницаемым и светодиодным экраном (темновой режим). Расчет валовой первичной продукции (ВПП) осуществлялся по формуле

$$\text{ВПП (GPP)} = \text{SR} - \text{NSE}$$

Параллельно проводится измерение объемной влажности почвы (%) с помощью сенсора HydraProbe и температуры почвы (на глубине 10, 5 и 0 см) электронными термометрами CheckTemp 1 (Hanna Instruments). В каждой синузии производятся регулярное измерение глубины деятельного слоя почвы (сезонно-талого слоя) стальным щупом длиной 1.2 м.

В результате исследований показано, что чистый почвенный обмен в рассматриваемых северотаежных лиственничниках варьирует от -0.64 до 1.00 мкмоль/m²/с (-27–43 мгC/m²/час) в лишайниковых синузиях и от 0.34 до 1.95 мкмоль/m²/с (18–84 мгC/m²/час) в зеленомошных. При этом рост температур почвы обуславливает увеличение положительного потока CO₂ в атмосферу (эмиссия). Усредненная ВПП живого напочвенного покрова в северотаежном лиственничнике варьировала от 4 до 92 мг/m²/час. Максимальная продуктивность отмечалась в лишайниковой синузии — до 118 мгC/m²/час, после выпадения интенсивных осадков. В целом повышение

ВПП живого напочвенного покрова в северотаежном лиственничнике отмечается в конце вегетационного периода. При средних за сезон значениях от 13 до 100 мгС/м²/час (положительный поток CO₂ в атмосферу), полученные данные свидетельствует о том, что исследованные участки являются слабым, но достаточно устойчивым источником диоксида углерода, а фотосинтетическая активность мохово-лишайникового покрова не компенсирует минерализационный поток CO₂ из почвы.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00165 «Внесение изотопной метки (¹³C-CO₂) для оценки углерод-депонирующего потенциала мохово-лишайникового яруса лесных экосистем криолитозоны Средней Сибири».

<https://rscf.ru/project/25-24-00165/>

ROLE OF MOSS-LICHEN LAYER IN CARBON BALANCE OF LARCH FORESTS IN PERMAFROST ZONE OF MIDDLE SIBERIA

Prokushkin A.S., Polosukhina D.A.

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia*

Keywords: carbon dioxide fluxes, mosses, lichens, Middle Siberia

СООТНОШЕНИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В МОХОВО-ЛИШАЙНИКОВОМ ЯРУСЕ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Полосухина Д.А.^{1,2*}, Шаповалова Д.В.^{1,2}, Метелева М.К.¹, Прокушкин А.С.^{1,2}

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск, Россия*

²Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

E-mail: dana_polo@mail.ru

Ключевые слова: стабильные изотопы, мхи, лишайники, криолитозона

Стабильные изотопы углерода широко используются в науках об окружающей среде для изучения физиологических, экологических и биогеохимических процессов, связанных с экосистемными, региональными и глобальными углеродными циклами, включая информацию о сезонной изменчивости процессов фотоассимиляции CO₂ из атмосферы.

Исследования проводились на пробных площадях в подзоне северной тайги Средней Сибири, в лиственничниках кустарничково-лишайниково-зеленомошных (10Лц, возраст 110–127 лет) в окрестностях п. Тура (Эвенкийский район Красноярского края, 64°17' с. ш., 100°11' в. д.). Объектами выступали доминантные виды мхов и лишайников, сбор которых осуществлялся в середине периода активной вегетации (июль). Все отобранные образцы перед элементным и изотопным анализом высушивали при температуре 60°C в течение 48 часов до постоянного веса и далее гомогенизировали путём измельчения в вибрационной мельнице MM 200 (Retsch, Германия). Содержание общего углерода (C, %), а также его изотопного состава ($\delta^{13}\text{C}$) определяли на элементном анализаторе (Vario isotope cube, Elementar, Германия) подключенному к изотопному масс-спектрометру (IsoPrime100, Elementar, Германия). Изотопный состав (отношение $^{13}\text{C} : ^{12}\text{C}$) выражается в тысячных долях (‰) отклонения ($\delta^{13}\text{C}$) от международного эталона (Vienna Pee Dee Belemnite).

В северотаежных биогеоценозах наименьшие величины $\delta^{13}\text{C}$ отмечаются в гаметофитах мхов ($-30.6 \pm 1.5\text{‰}$), а наибольшие — в талломах лишайников ($-25.69 \pm 1.5\text{‰}$). Зеленые мхи, формирующие сплошной живой напочвенный покров, обеднены тяжелым изотопом ^{13}C , что отражает их эффективную функцию фильтра CO₂, образующегося в результате «дыхания почвы». Межвидовая вариация $\delta^{13}\text{C}$ в тканях мхов оказалась относительно невелика: от -32.7‰ у *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. до -28.2‰ у *Polytrichum ciliatae* Hedw. Такие различия могут отражать видоспецифические особенности их адаптации к абиотическим условиям.

В широко распространенных тундровых экосистемах и бореальных лесах лишайниках родов *Cladina* и *Cetraria* отмечаются повышенные (от -27.39 до -25.09‰) по сравнению с сосудистыми растениями и бриофитами значения $\delta^{13}\text{C}$. Таким образом, несмотря на предполагаемый эффект полога (т. е. поглощения ими подобно бриофитам изотопно легкого почвенного CO₂) углеродный обмен у лишайников, отражающийся в утяжелении изотопного состава углерода, может обуславливаться преобладанием в их биомассе талломов гетеротрофного микобиона (до 90% согласно Honegger, 2022). Водный режим и активность фотобиона определяют как эффективность фотосинтетической активности, так и фотодыхания организма, приводя, в конечном итоге, к обогащению $\delta^{13}\text{C}$. В процессах гетеротрофного дыхания происходит дальнейшая дискриминация тяжелого изотопа и утяжеление изотопного состава углерода биомассы.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00165 «Внесение изотопной метки ($^{13}\text{C-CO}_2$) для оценки углерод-депонирующего потенциала мохово-лишайникового яруса лесных экосистем криолитозоны Средней Сибири».

<https://rscf.ru/project/25-24-00165/>

**RATIO OF STABLE CARBON ISOTOPES
IN THE MOSS-LICHEN LAYER OF LARCH FORESTS
IN THE CRYOLITHOZONE OF MIDDLE SIBERIA**

Polosukhina D.A.^{1,2}, Shapovalova D.V.^{1,2}, Meteleva M.K.¹, Prokushkin A.S.^{1,2}

¹V.N. Sukachev Institute of Forestry SB RAS, Krasnoyarsk, Russia*

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Keywords: stable isotopes, mosses, lichens, cryolithozone

СЕЗОННЫЕ И ГОДОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА АЗОТА В ХВОЕ LARIX CAJANDERI НА ЭКОТОНЕ ТАЙГА-ТУНДРА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

Старостин Е.В.^{1,2*}, Максимов Т.Х.^{1,2}

¹ ФИЦ Якутский научный центр СО РАН, Якутск, Россия

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: lokofill91@gmail.com

Ключевые слова: стабильные изотопы, азот, тундра, тайга, Северо-восток России

В течение последних десятилетий анализ соотношения стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}/\delta^{14}\text{N}$) широко используется для определения динамики цикла азота в ответ на изменения окружающей среды. В данной работе определение $\delta^{15}\text{N}$ в образцах хвои *larix cajanderi* выполнены с использованием элементного анализатора Flash EA 1112 (Thermo Fisher Scientific) и масс-спектрометра Delta V (Thermo Fisher Scientific).

Экспериментальные участки находятся в низменности р. Индигирка, недалеко от п. Чокурдах ($70^{\circ} 38' \text{ с. ш.}, 147^{\circ} 53' \text{ в. д.}$), Республика Саха (Якутия). В исследовании использовали хвои лиственницы, собранные в июле-августе 2013–2019 гг., из трех различных участков с разными гидрологическими условиями. Участок Аллаиха (А) — расположен на высоком берегу притока р. Индигирка (40–60 м над уровнем реки), район не подвержен затоплению во время весенних паводков. Участок Кодак — экотон северной тайги и тундры. Высота над уровнем реки 10–15 м. На этом участке мы разделили экспериментальные деревья на две группы: участок Кодак сухой (КС) — где деревья произрастают на относительно высокой и сухой поверхности; и участок Кодак влажный (КВ) — где лиственницы произрастают в низинных участках с высокой влажностью почвы.

По результатам наших исследований установлены четкие различия между экспериментальными участками (рисунок). Обнаружены, самые низкие показатели в переувлажнённом участке КВ, где $\delta^{15}\text{N}$ варьирует от $-5,99\text{‰}$ до $-6,88\text{‰}$ по годам. На участках КС и А отмечены более высокие значения $\delta^{15}\text{N}$ — выше в среднем на 1,9 и 2,4‰ чем в КВ соответственно. Следует отметить резкое понижение $\delta^{15}\text{N}$ в 2017–18 гг. на участке Кодак из-за продолжительного наводнения в июне-июле 2017 г. Напротив, участок А не был затоплен и поэтому показатели $\delta^{15}\text{N}$ стабильны. На всех участках исследования наблюдалось плавное снижение $\delta^{15}\text{N}$ в 2013–2016 гг.

Таким образом, исследование выявило зависимость $\delta^{15}\text{N}$ в хвое лиственницы от гидрологических условий. Переувлажнение участков негативно влияют на азотный обмен лесотундровых экосистем, возможно, из-за снижения активности микоризных грибов и почвенных микроорганизмов.

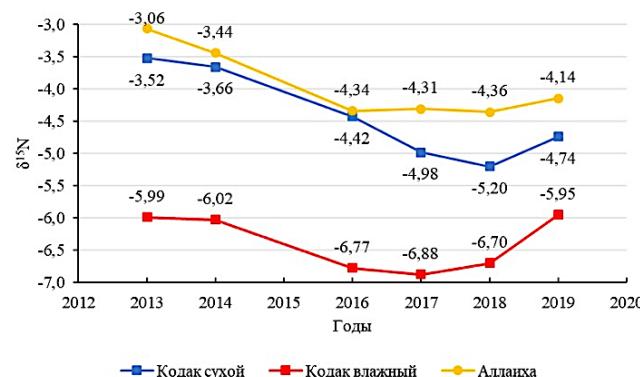


Рисунок — Изменение $\delta^{15}\text{N}$ в хвое *Larix cajanderi* в 2013–2019 гг.

**SEASONAL AND ANNUAL VARIATIONS
IN THE ISOTOPIC COMPOSITION OF NITROGEN
IN LARIX CAJANDERI NEEDLES IN THE TAIGA-TUNDRA
ECOTONE IN THE NORTH-EAST OF RUSSIA**

Starostin E.V.^{1,2}, Maximov T.C.^{1,2}

¹FRC Yakutsk Scientific Center SB RAS, Yakutsk, Russia

²Institute for Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: stable isotopes, nitrogen, tundra, taiga, North-East of Russia

СЕЗОННАЯ И ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ И СЕКВЕСТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ХВОЙНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА «УРАЛ-КАРБОН»

Киселева И.С., Малева М.Г., Трубецкой Д.В., Синенко О.С., Патрикеева А.А., Канивец М.А.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: irina.kiseleva@urfu.ru

Ключевые слова: *Picea obovata, Abies sibirica, Pinus sylvestris*, ассимиляция CO₂, лигнин

Изучение сезонной и возрастной динамики физиолого-биохимических показателей ели, пихты и сосны на двух (Коуровка и Северка) территориях карбонового полигона показало высокую изменчивость скорости фотосинтеза в течение суток и разные месяцы года. У ели этот показатель в летний период в Коуровке и Северке составил, соответственно, 3–3,5 и 2,8–3 мг CO₂/кг хвои*час; у пихты в Коуровке 2,5–3 мг CO₂/кг хвои*час, а у сосны на Северке — 3,3–3,5 мг CO₂/кг хвои*час. Используя данные В.А. Усольцева (2007, 2022) для таежных лесов полигона «Урал-Карбон» рассчитана ассимиляция CO₂: 6–7 кг/га*час или 10–12 т/га за весь вегетационный сезон.

Содержание фотосинтетических пигментов в хвое росло с марта до октября, зимой снижалось на 20–30. От 1-го года жизни хвои до 4-го содержание хлорофиллов увеличивалось от 0,7–0,8 до 2,5–2,8 г/кг сухой массы хвои. Хлорофильный индекс лесов полигона составил от 1,5–2 до 5–6 кг/га хвойного леса в разные годы и разные месяцы. Сезонные изменения содержания каротиноидов были схожими у хвои разного возраста. Содержание пигментов было минимальным в самом начале роста хвоинок, затем заметно увеличивалось к зиме, что предохраняло фотосинтетический аппарат от фотоокисления в зимний период.

Потенциальную секвестрационную способность деревьев оценивали по накоплению биомассы и соотношению фотосинтетических (хвоя) и гетеротрофных (стволики) тканей. В 1-й год жизни масса хвои была больше, чем стволиков, по мере старения масса гетеротрофных органов росла сильнее, чем автотрофных. За 4 года большую биомассу накапливали побеги сосны. Побеги ели формировали в 1,25 раза меньшую биомассу в сравнении с пихтой. Из всех компонентов биомассы лигнин наиболее устойчив к биодеградации. Его содержание в побегах разного возраста составляет не менее 30% и не более 50%. Наименьшая доля лигнина обнаружена в междоузлиях сосны, наибольшая — в побегах ели. У пихты и сосны уже со второго года жизни доля лигнина в биомассе практически не меняется, однако если пересчитать его содержание на массу междоузлия 4 года, то у ели лигнина в нем будет меньше в 1,7 раз (40 мг), чем у пихты (67,5 мг) и в 2,8 раза в сравнении с сосной (112,5 мг).

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания FEUZ-2024-0011

SEASONAL AND AGE DYNAMICS OF PHOTOSYNTHETIC AND SEQUESTRATION CHARACTERISTICS OF CONIFEROUS WOODY PLANTS OF THE CARBON POLYGON «URAL-CARBON»

Kiseleva I.S., Maleva M.G., Trubetskoy D.V., Sinenko O.S., Patrikeeva A.A., Kanivets M.A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Keywords: *Picea obovata, Abies sibirica, Pinus sylvestris*, CO₂ assimilation, lignin

СТРУКТУРА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ФИТОМАССЕ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ТЕМНОХВОЙНО-ОСИНОВЫХ ЛЕСОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Клименко В.С.*, Ниязова А.В.

ФГБОУ ВО «Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

*E-mail: v_klimenko@ugrasu.ru

Ключевые слова: бореальный лес, элемент мозаики, растительность, оценка углерода

Леса играют ключевую роль в глобальном цикле углерода, выступая важнейшим резервуаром органического вещества. Особое значение имеют бореальные леса, на долю которых приходится значительная часть накопленного углерода. В Западной Сибири, где бореальные леса занимают 40% общей лесопокрытой площади страны, напочвенный покров является существенным компонентом экосистемы, участвующим в аккумуляции и трансформации углерода. Однако структура запасов углерода в фитомассе напочвенного покрова изучена недостаточно. Поэтому целью работы является оценка запасов углерода в фитомассе напочвенного покрова темнохвойно-осинового леса средней тайги Западной Сибири.

Исследование проводилось в типичном для Западной Сибири смешанном (темнохвойно-осиновом мелкотравно-зеленомошном) лесу на площадках 20×20 м в 5-кратной повторности. Для оценки углерода в различных элементарных биогеоареалах (далее ЭБГА), а именно в межкроновом, подкроновом хвойном и подкроновом лиственном пространствах, в рамках размером 0.25 × 0.25 м отбирался укос фитомассы напочвенного покрова и почвенные монолиты на глубину до 30 см (основная глубина укоренения растений). Камеральная обработка материала заключалась в разборе растительности на фракции по видам, выделении подземной фитомассы (живые и мертвые корни). Образцы высушивались при температуре 40°C, после чего определялось содержание гигроскопической влаги. Содержание углерода определялось методом высокотемпературного сжигания в избытке кислорода (методом Дюма) на элементном анализаторе ECS 8020.

В надземной фитомассе средняя доля углерода составила 42%. Минимальные значения зафиксированы у травянистых видов (37%), максимальные — у кустарничков (49%). В подземной фитомассе доля углерода составила 45%. Наименьший вклад в общий углеродный пул экосистемы вносит надземная фитомасса, доля которой составляет 14% от суммарных запасов углерода, при этом 45% фитомассы формируется за счёт чистой первичной продукции (NPP). Под кронами ели средний запас составил 19 гС/м² ± 2.0, что является минимальным значением среди всех ЭБГА; максимальное значение получено для подкронового ЭБГА осины и составило 38 гС/м² ± 4. Подземные органы растений выступают доминирующим компонентом углеродного пула фитомассы, формируя 86% от общего запаса углерода, с абсолютными значениями в диапазоне 91–257 гС/м² (±3.5). Средние значения по элементам мозаики составили: межкроновый ЭБГА — 147 гС/м²; ЭБГА осины — 170.6 гС/м²; ЭБГА ели — 187 гС/м².

Суммарный запас углерода в живой фитомассе (надземная и подземная) варьировал: от 115 гС/м² до 310 гС/м². Стоит подчеркнуть, что запасы углерода в фитомассе (надземная и подземная) между ЭБГА не отличаются значимо ($F=0,53$; $P=0,60$): межкроновое — 178 гС/м² ± 4.3, ЭБГА ели — 206 гС/м² ± 12.8, ЭБГА осины — 208 гС/м² ± 5.9.

Распределение углерода в напочвенном покрове носит мозаичный характер, однако статистически значимых различий между ЭБГА не выявлено. Относительно однородные почвенно-климатические условия средней тайги способствуют выравниванию запасов углерода на ландшафтном

уровне. Полученные результаты подчёркивают важность учёта не только локальной неоднородности напочвенного покрова, но и его интегральной роли в углеродном балансе лесных экосистем.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пуль 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).

STRUCTURE OF CARBON STOCKS IN THE PHYTOMASS OF THE GROUND COVER OF DARK CONIFEROUS-ASPEN FORESTS OF THE MIDDLE TAIGA OF WESTERN SIBERIA

Klimenko V.S., Niyazova A.V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Yugorsk State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Keywords: boreal forest, mosaic element, vegetation, carbon assessment

ЧИСТЫЙ ОБМЕН УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ЭКОСИСТЕМ И АТМОСФЕРЫ В ДНЕВНОЕ ВРЕМЯ ПО ДАННЫМ СЕТИ RUFLUX

Куричева О.А.^{1*}, Авилов В.К.¹, Варлагин А.В.¹, Горбаченко Е.М.^{1,2}, Дмитриченко А.А.³,
Дюкарев Е.А.^{3,4}, Загирова С.В.⁵, Замолодчиков Д.Г.^{6,7}, Зырянов В.И.⁸, Карелин Д.В.⁹,
Карсанаев С.В.¹⁰, Лапшина Е.Д.³, Максимов А.П.¹⁰, Максимов Т.Х.¹⁰, Мамадиев Н.А.¹¹,
Мамкин В.В.^{1,7}, Марунич А.С.¹², Махмудова Л.Ш.¹¹, Мигловец М.Н.⁵, Михайлов О.А.⁵,
Панов А.В.⁸, Петров Р.Е.¹⁰, Прокушин А.С.¹¹, Сиденко Н.В.⁸, Трусов Д.В.⁸,
Шилкин А.В.^{6,13}, Курбатова Ю.А.¹

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Россия

⁴ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

⁵ Институт биологии Коми научного центра УО РАН, Сыктывкар, Россия

⁶ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия

⁷ Высшая школа экономики, Москва, Россия

⁸ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН,
Красноярск, Россия

⁹ Институт географии РАН, Москва, Россия

¹⁰ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ ЯНЦ
СО РАН, Якутск, Россия

¹¹ Грозненский Государственный Нефтяной Технический Университет имени академика М.Д.
Милионщикова, Грозный, Россия

¹² Валдайский филиал Государственного гидрологического института, Валдай, Россия

¹³ НПО Тайфун, Обнинск, Россия

*E-mail: olga.alek.de@gmail.com

Ключевые слова: чистый экосистемный обмен, метод турбулентных пульсаций, световые
кривые, лесные экосистемы, болотные экосистемы

Количественные оценки обмена углекислого газа между природными экосистемами и атмосферой позволяют сравнивать интенсивность запасания углерода в различных экосистемах, а также исследовать влияние экосистем на климат. В данной работе обобщены результаты измерений вертикального чистого экосистемного обмена CO₂ (NEE) на восемнадцати эколого-климатических станциях (ЭКС), использующих метод турбулентных пульсаций. Пространственное осреднение потоков составляет от 50*50 до 600*600 м. Измерения ведутся круглогодично и круглогодично с временным шагом 30 минут. NEE рассчитан в программе EddyPro (Li-Cor Inc.), постобработка данных произведена с помощью инструмента FluxFilter (ИПЭЭ РАН). 9 ЭКС расположено в не нарушенных антропогенной деятельностью лесах, в основном средней и южной тайге; 6 ЭКС расположены на ненарушенных болотах; по одной станции — в тундре, в экосистеме ветровала и на зарастающей мелколиственным лесом вырубке.

Из массива измерений для каждой ЭКС были выбраны дневные данные NEE, осредненные за 30 минут, с июня по август, отфильтрованные на выбивающиеся и некачественные значения. Сравнение станций в лесах и на болотах показывает, что на лесных станциях насыщение кривой NEE — Rs (где Rs — суммарная радиация) либо не наступало (ельники и вырубка Европейской территории России, лес Западной Сибири), либо наступало только при высоких значениях Rs, >600 Вт/м², в отдельные годы (один из ельников ЕТР, лиственничники Средней и Восточной Си-

бири). На двух верховых болотах и в тундре насыщение обмена CO₂ наступало при менее интенсивной радиации, $Rs=400\ldots500 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Значения NEE при Rs , соответствующей насыщению, менялись от -1.7 до $-17.7 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ на болоте средней Сибири и в широколиственном лесу Чечни, соответственно. Для нескольких станций рассчитана межгодовая изменчивость NEE при насыщении, составившая $\pm 15\ldots20\%$ от среднего значения. Среднее значение NEE и стандартное отклонение среди экосистем данного типа при световом насыщении для трех лиственничных лесов составило -7.9 ± 3.3 , для трех еловых и соснового леса -10.3 ± 4.5 , для трех лиственных и смешанного леса -15.4 ± 2.6 , для болот — $-4.6 \pm 2.0 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, для экосистемы ветровала $-7.8 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Значения Rs светового компенсационного пункта для лесных экосистем на ЕТР и в Западной Сибири были выше, чем в лесных экосистемах Средней и Восточной Сибири. У лиственничников и верховых болот в самой низкой градации Rs , от 10 до $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$, фотосинтез уже уравновешивал экосистемное дыхание (значения NEE близки к нулю).

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пумов 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).

Работа выполнена в рамках реализации государственного задания на НИР FZNU — 2024-0004 «Комплексное изучение потоков парниковых газов на природных и антропогенно-нарушенных ландшафтах Чеченской Республики и разработка научно-обоснованных рекомендаций по восстановлению биоресурсного потенциала нарушенных земель».

Работы на карбоновом полигоне «Мухрино» ФГБОУ ВО «ЮГУ» выполнены в Югорском государственном университете в рамках пилотного проекта Минобрнауки России по созданию на территории регионов России карбоновых полигонов для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса, реализуемого на основании Приказа Минобрнауки России от 5 февраля 2021 г. № 74 «О полигонах для разработки и испытаний технологий контроля углеродного баланса» (с изменениями от 21.01.2022).

Работа выполнена при поддержке государственного задания Лаборатории Эколого-Климатических исследований Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (FFER-2025-0001, № 1024100700075-7-1.6.19).

NET EXCHANGE OF CARBON DIOXIDE OF ECOSYSTEMS AND ATMOSPHERE DURING THE DAYTIME ACCORDING TO THE RUFLUX NETWORK DATA

Kuricheva O.A.¹, Avilov V.K.¹, Varlagin A.V.¹, Gorbarenko E.M.^{1,2}, Dmitrichenko A.A.³, Dyukarev E.A.^{3,4}, Zagirova S.V.⁵, Zamolodchikov D.G.^{6,7}, Zyryanov V.I.⁸, Karelina D.V.⁹, Karsanaev S.V.¹⁰, Lapshina E.D.³, Maximov A.P.¹⁰, Maximov T.C.¹⁰, Mamadiev N.A.¹¹, Mamkin V.V.^{1,7}, Marunich A.S.¹², Makhmudova L.Sh.¹¹, Miglovets M.N.⁵, Mikhailov O.A.⁵, Panov A.V.⁸, Petrov R.E.¹⁰, Prokushkin A.S.¹¹, Sidenko N.V.⁸, Trusov D.V.⁸, Shilkin A.V.^{6,13}, Kurbatova Yu.A.¹

¹Institute of Problems of Ecology and Evolution named after. A.N. Severtsov RAS, Moscow, Russia

²Moscow State University named after. M.V. Lomonosov, Moscow, Russia

³Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

⁴Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

⁵Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

⁶Center for Problems of Ecology and Forest Productivity of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁷ Higher School of Economics, Moscow, Russia

⁸ Forest Institute named after V.N. Sukachev Institute of Hydrology and Environmental Protection of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences — a separate division of the FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

⁹ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹⁰ Institute for Biological Problems of the Cryolithozone of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences — a separate division of the FRC Yakutsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

¹¹ Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

¹² Valdai Branch of the State Hydrological Institute, Valdai, Russia

¹³ NPO Typhoon, Obninsk, Russia

Keywords: net ecosystem exchange, turbulent pulsation method, light curves, forest ecosystems, wetland ecosystems

НЕ ТОЛЬКО ЦИКЛ КАЛЬВИНА: РОЛЬ НЕОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В РЕГУЛЯЦИИ СКОРОСТИ СВЕТОВЫХ РЕАКЦИЙ ФОТОСИНТЕЗА

Маркин Р.В., Иванов Б.Н., Козулева М.А.*

Институт фундаментальных проблем биологии РАН — обособленное структурное подразделение ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований» РАН, Пущино, Россия

*E-mail: marina.kozuleva@pbcras.ru

Ключевые слова: неорганический углерод, фотосинтетический электронный транспорт, фотосистема II, pH люмена, карбоангидраза

В цикле Кальвина-Бенсона-Бассама неорганический углерод в форме CO_2 выступает в качестве конечного акцептора восстановительных эквивалентов, генерируемых в процессе световой фазы фотосинтеза. Однако накоплено много данных, полученных преимущественно *in vitro*, что неорганический углерод непосредственно влияет на скорость фотосинтетического электронного транспорта.

В частности, в кристаллических структурах фотосистемы II (ФСII) нашли бикарбонат, расположенный между сайтами связывания пластохинона Q_A и Q_B на акцепторной стороне ФСII. Известно, что удаление бикарбоната существенно замедляет скорость переноса электрона в ФСII. Участие карбоангидраз — ферментов, катализирующих взаимоконверсию CO_2 и бикарбоната, — в регуляции связывания бикарбоната на акцепторной стороне ФСII предполагалось, однако до сих пор природа этой карбоангидразы оставалась невыясненной. В работе с изолированными тилакоидами из *Arabidopsis thaliana*, в которых эффективность переноса электрона на участке между Q_A и Q_B оценивалась с помощью флуоресцентных подходов, нами получены свидетельства о нарушении поставки CO_2 на этом участке в мутантах без тилакоид-связанной альфа-карбоангидразы 5.

В нашей работе показано, что акцепторная сторона ФСII — не единственный сайт взаимодействия неорганического углерода с фотосинтетической электрон-транспортной цепью. Увеличение концентрации бикарбоната в среде снаружи тилакоидов гороха (*Pisum sativum*) приводило к уменьшению величины протонного градиента, оцененного по тушению флуоресценции 9-аминоакридина, что указывает на увеличение pH тилакоидного люмена. Добавка ингибиторов карбоангидраз оказывала схожее действие, а сравнение эффектов ингибиторов, различающихся по липофильности, указывает на возможное участие минимум двух карбоангидраз, расположенных по разные стороны тилакоидной мембранны.

Таким образом, мы показали, что в люмене тилакоидов функционирует CO_2 /бикарбонатная буферная система, которая *in vivo* может реагировать на изменение концентрации CO_2 в строем хлоропласте и регулировать скорость световых реакций фотосинтеза на этапе переноса электронов от ФСII к фотосистеме I, что необходимо для защиты последней от фотоингибирования.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №25-24-00597.

NOT ONLY THE CALVIN CYCLE: THE ROLE OF INORGANIC CARBON IN REGULATION OF THE RATE OF LIGHT REACTIONS OF PHOTOSYNTHESIS

Markin R.V., Ivanov B.N., Kozuleva M.A.

Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences —
a separate structural division of the Federal Research Center “Pushchino Scientific Center
for Biological Research” of the Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

Keywords: inorganic carbon, photosynthetic electron transport, photosystem II, lumen pH, carbonic anhydrase

ОСОБЕННОСТИ УГЛЕРОДНОГО ГАЗООБМЕНА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЯКУТИИ

Григорьев М.Р.*[,] Максимов А.П., Максимов Т.Х.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

E-mail: eidosmarat@mail.ru

Ключевые слова: фотосинтез, CO₂, береза, лиственница.

Древесная растительность Центральной Якутии играет важную роль в формировании бюджета углерода путем химического связывания углерода, т. е. фотосинтеза. В связи с этим, существует необходимость в углублении знаний в этой области. Цель нашего исследования состоит в изучении биохимических параметров фотосинтеза березы плосколистной и лиственницы Каяндра в течение вегетационного сезона. При помощи инфракрасного газоанализатора Li-6400 (LI-COR, США), изучили динамику основных параметров фотосинтеза на территории лесной научной станции Спасская Падь. Полученные данные обработали при помощи ПО PhotosynAssistant и получили расчетные данные основных биохимических параметров фотосинтеза.

Известно, что процесс фотосинтеза протекает через 2 фазы: первая зависит от концентрации РБФКО (RuBisCO) (V_{cmax}), вторая от скорости транспорта электронов (J_{max}) и конечная ассимиляция зависит от того, какая из этих стадий лимитирует процесс фотосинтеза. В нашем случае соотношение V_{cmax} к J_{max} составляет 1:2,5 для березы (42 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹ и 107 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹ соответственно) и 1:2,2 для лиственницы (24 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹ и 50 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹ соответственно). Согласно Дарба и др. (2010) в умеренном климатическом поясе Северной Америки, у березы бумажной эти параметры соответствуют 1:0,9 (85 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹ и 94 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹ соответственно). Несмотря на такое различие в параметрах V_{cmax} и J_{max}, между якутскими видами и березой в Северной Америке, конечное значение A_{max} составляет для березы плосколистной — 12,3 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹, для лиственницы Каяндра — 5,6 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹, а для березы бумажной (США) 7,4 микромоль CO₂ m⁻² s⁻¹. Т. е. несмотря на казалось бы на двухкратную диспропорцию между V_{cmax} и J_{max}, скорость ассимиляции у березы в Якутии выше на 37%, чем у березы бумажной в умеренном поясе Северной Америки.

Таким образом, можно предположить, что низкие значения скорости карбоксилирования это не лимитирующий фактор фотосинтеза для древесных растений в Якутии, а ее региональная особенность. Однако, на наш взгляд, требуется более углубленное изучение темы для конкретизации вышеприведенного тезиса.

Библиографические ссылки:

Joseph N. T. Darbah, Thomas D. Sharkey, Carlo Calfapietra, David F. Karnosky. Differential response of aspen and birch trees to heat stress under elevated carbon dioxide. 2010/ Environmental Pollution/ Vol 158. p. 1008–1014

FEATURES OF CARBON GAS EXCHANGE IN WOODY PLANTS OF YAKUTIA

Grigoriev M.R., Maximov A.P., Maximov T.C.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: photosynthesis, CO₂, birch, larch.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ C₂ ВИДА *SEDOBASSIA SEDOIDES*

Анисина А.А.* , Сайдова Л.Т., Шуйская Е.В., Рахманкулова З.Ф.

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

*E-mail: deoxyribose01@yandex.ru

Ключевые слова: *Sedobassia sedoides*, C₂-фотосинтез, газообмен.

Вид *Sedobassia sedoides* относится к промежуточным C₃ — C₄ видам с C₂-фотосинтезом. C₂-фотосинтез — тип углерод-концентрирующего механизма (УКМ), при котором декарбоксилирование в цикле фотодыхания происходит в клетках обкладки проводящих пучков, после чего выделившийся углекислый газ фиксируется повторно в хлоропластах клеток обкладки. Растения с C₂ типом фотосинтеза подразделяются на два подтипа (C₂ (I) и C₂ (II)). Особенностью C₂ (II) растений является наличие характеристик C₄ УКМ. Мы исследовали растения *S. sedoides* из двух популяций Стационар (Ст) и Эльтон (Эл), выращенных в условиях 30-дневного засоления (200мM NaCl), чтобы оценить внутривидовую изменчивость процесса фотосинтеза по параметрам газообмена (ассимиляции CO₂, транспирации, эффективности использования воды (WUE), углекислотной компенсаторной точке (Г), и устьичной проводимости).

У контрольных растений популяции Ст наблюдались более высокие значения WUE по сравнению с растениями популяции Эл. У обеих популяций при засолении наблюдалось понижение ассимиляции CO₂, сопровождающееся снижением устьичной проводимости и транспирации, что свидетельствует о снижении ассимиляции именно за счет устьичного лимитирования фотосинтеза. У контрольных Ст растений значения Г составили 20.5±3.9 ppm, тогда как при засолении Г возрастало до 43.8±2.6 ppm. Растения популяции Эл демонстрировали более высокие значения Г (47.5±8.4 ppm в контрольных условиях, 42.3±3.7 ppm при засолении). Меньшие значения Г соответствуют более эффективным УКМ, поэтому можно предположить, что растения популяции Ст имеют более выраженный УКМ, чем растения Эл, но при стрессе его интенсивность снижается.

Анализ фотосинтетических параметров позволяет предположить принадлежность растений *S. sedoides* популяции Ст ко второму подтипу C₂ фотосинтеза (C₂ (II)), а растения популяции Эл к первому подтипу (C₂ (I)).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700044–6).

PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF C₂ SPECIES *SEDOBASSIA SEDOIDES*

Anisina A.A., Saidova L.T., Shuyskaya E.V., Rakhmankulova Z.F.

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

Keywords: *Sedobassia sedoides*, C₂ photosynthesis, gas exchange.

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЯЕМОГО СТРЕССА

Титов А.Ф., Шибаева Т.Г.

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

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

Ключевые слова: растения, фотопериод, стресс, закрытые системы

В последние годы в целом ряде исследований показано, что наряду с другими неблагоприятными факторами абиотической природы (низкие и высокие температуры, засоление, засуха и т.д.) стресс может возникать у растений под влиянием фотопериодических условий, значительно отличающихся от тех, к которым они эволюционно адаптированы. В этом случае в их клетках и тканях наблюдаются многие из тех неспецифических изменений, которые характерны для реакции растений на другие стресс-факторы. Причем, если интенсивность стресса не столь велика, то он вызывает лишь неглубокие и обратимые изменения, которые за счет включения и мобилизации адаптационных механизмов могут быть «устранены», а растительный организм из состояния стресса возвращается в состояние нормы. Принципиально, что последствия такого стресса не обязательно являются сугубо негативными, что в частности породило в рамках классической теории стресса понятие эустресса (т. е. положительного, полезного стресса) в противоположность дистрессу (отрицательному, вредному стрессу), который вызывают более сильные стрессы, сирирующие воздействия.

Результаты наших исследований и анализ литературы доказывают, что манипулируя фотопериодическими условиями, можно выявить такие, которые являясь в принципе аномальными для растений, тем не менее, способны оказывать положительный эффект в плане улучшения каких-то важных с хозяйственной точки зрения показателей. Например, инициировать повышение тех показателей, которые определяют пищевую ценность, биобезопасность и другие потребительские свойства растительной продукции. В этом случае, в отличие от обычной ситуации, не только не следует стремиться вернуть растения из состояния стресса в состояние нормы, а наоборот, необходимо их на какое-то время «зафиксировать» в этом состоянии. Следовательно, намеренно создавая стресс определенной интенсивности и продолжительности, мы получаем в свои руки новый инструмент управления ростом растений, что крайне важно при их выращивании с хозяйственными целями в закрытых системах, таких как современные фабрики растений (plant factories), играющими во многих странах все более значимую роль в решении проблемы продовольственной безопасности.

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

CONCEPT OF CONTROLLED STRESS

Titov A.F., Shibaeva T.G.

Institute of Biology, FRC «Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences», Petrozavodsk, Russia

Keywords: plants, photoperiod, stress, closed systems

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА СКООРДИНИРОВАННОСТЬ УГЛЕРОДНОГО И ВОДНОГО ОБМЕНА У РАСТЕНИЙ С РАЗНЫМ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА

Рахманкулова З. Ф.*¹, Шуйская Е. В., Прокофьева М. Ю., Saidova Л. Т., Анисина А. А.

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

*E-mail: zulfirar@mail.ru

Ключевые слова: засухо- и термоустойчивость, повышенный уровень CO₂.

Были проведены сравнительные комплексные морфофизиологические, биохимические и молекулярно-генетические исследования C₃ вида *Chenopodium quinoa*, C₄-НАДФ вида *Kochia prostrata* и C₄-НАД вида *Amaranthus retroflexus* в условиях индивидуального и комбинированного действия ПЭГ-индуцированного осмотического и температурного стресса при естественной атмосферной и повышенной концентрации CO₂.

Анализ скоординированности углеродного и водного обмена у растений с разным типом фотосинтеза выявил более значительное сходство C₄-НАД вида *A. retroflexus* с C₃ видом *C. quinoa*, чем с C₄-НАДФ видом *K. prostrata*, а именно показано наличие тесных корреляционных связей между ассимиляцией CO₂ и транспирацией, между ассимиляцией CO₂ и эффективностью использования воды (WUE), а также между WUE и структурной сухой биомассой, между митохондриальным дыханием и удельной поверхностной плотностью листа (УППЛ). Удельная поверхностная плотность листа является интегральным показателем содержания структурных и функциональных элементов мезоструктуры листа и косвенно характеризует его толщину.

Сравнение механизмов гомеостатирования водного статуса у растений с разным типом фотосинтеза позволяет сделать следующие выводы: у C4-НАД вида *A. retroflexus* пролин не принимает участие в поддержании водного баланса, тогда как у C₃ вида *C. quinoa* и C₄-НАДФ вида *K. prostrata* пролин играет активную роль; у *A. retroflexus* параметр УППЛ тесно коррелирует с сырой биомассой и с содержанием воды, а также с содержанием ионов Na⁺, K⁺. У *K. prostrata* также выявлена корреляция между УППЛ и сырой биомассой, между УППЛ и содержанием воды, однако эта связь отрицательная. У *C. quinoa* параметр УППЛ совсем не участвует в поддержании механизмов гомеостатирования водного баланса.

В целом проведенные исследования показали, что наибольшую устойчивость к изменению климатических факторов продемонстрировал C₃ вид *C. quinoa*. C₄-НАДФ вид *K. prostrata* проявил наибольшую изменчивость и вариабельность защитных реакций, а C₄-НАД вида *A. retroflexus* на фоне окислительного и осмотического стресса продемонстрировал высокий антиоксидантный потенциал.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700044-6).

INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE COORDINATION OF CARBON AND WATER METABOLISM IN PLANTS WITH DIFFERENT TYPES OF PHOTOSYNTHESIS

Rakhmankulova Z. F., Shuyskaya E. V., Prokofieva M. Yu., Saidova L. T., Anisina A. A.

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

Keywords: drought and heat resistance, elevated CO₂ levels

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ БИОМИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАСТЕНИЯХ, КАК НЕУЧТЕННОГО СТОКА АТМОСФЕРНОГО УГЛЕРОДА

Икконен Е.Н.^{1*}, Овчинникова С.В.²

¹Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия;

²ЦСБС СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: likkonen@gmail.com

Ключевые слова: Boraginaceae, перикарпий, аморфный кремнезем, карбонат кальция

Формирование биогенных минералов в растениях является распространенным и физиологически важным для них процессом. Помимо обширной физиологической значимости обозначена экологическая роль минералообразования, заключающаяся в фотосинтетической ассимиляции углерода, накоплении его в биоминералах и секвестрировании в виде почвенного карбоната и/или фитолитов, выводя, таким образом, из атмосферного цикла.

В задачи работы входила идентификация минеральных фаз, оценка их распределения и содержания в плодах более 50 видов семейства Boraginaceae Juss. Методами рамановской спектроскопии, сканирующей электронной и поляризационной микроскопии определено, что формирование минеральных фаз может осуществляться во всех слоях перикарпия и в семенной кожуре. У более чем 30 из исследованных видов углерод секвестрируется в минеральной фазе, представленной кристаллическим карбонатом кальция в форме кальцита, отложение которого осуществляется во внутриклеточном пространстве и в поровых каналах клеток перикарпия. Кальцит является устойчивым, малорастворимым веществом, которое может сохранять и не высвобождать углерод в течение длительного времени. У большинства видов синтез кальцита сопровождается формированием аморфного диоксида кремния, что придает дополнительную устойчивость образовавшимся минеральным структурам. В структуре клетки минеральные фазы строго дифференцированы. Тогда как кальцит синтезируется во внутриклеточном и поровом пространствах, окремнению подвергаются клеточные стенки, капсулируя таким образом внутриклеточный кальцит. Поскольку кремнезем обладает высокой твёрдостью и плотностью, биологически не разлагаем и устойчив к разрушению, попадая в почву после отмирания растения, он первоначально способствует защите зародыша от патогенов и потерь влаги, а в долгосрочной перспективе препятствует выводу углерода из остатков органического вещества, не подвергшихся минерализации.

Содержание минералов в плодах может достигать 40 вес%, при этом, на долю кальцита приходится более 60% от массы минеральных фаз. С учетом обширных ареалов представителей космополитного семейства Boraginaceae фотосинтетическая ассимиляция ими CO₂ и формирование в них биогенных карбонатов могут быть рассмотрены как непрерывный путь вывода углерода из атмосферы.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования (FMEN-2022-18).

ECOLOGICAL ROLE OF BIOMINERALIZATION IN PLANTS AS AN UNACCOUNTED ATMOSPHERIC CARBON SINK

Ikkonen E.N.¹, Ovchinnikova S.V.²

¹Department of Complex Scientific Research, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia;

²Center for Botanical Gardens, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Keywords: Boraginaceae, pericarp, amorphous silica, calcium carbonate

ЭКОСИСТЕМНЫЕ ПОТОКИ СО₂ БОЛОТ ЮЖНОЙ И СРЕДНЕЙ ТАЙГИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ И ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ ЭКОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Мамкин В.В.^{1,2*}, Авилов В.К.¹, Дмитриченко А.А.³, Дюкарев Е.А.^{3,4}, Емельянова Е.Р.¹, Горбаченко Е.М.¹, Гуляев Р.Г.⁵, Иванов Д.Г.¹, Курбатов Е.О.^{1,2}, Куричева О.А.¹, Лапшина Е.Д.³, Мигловец М.Н.⁵, Михайлов О.А.⁵, Огурцов С.С.^{1,6}, Сандрлерский Р.Б.², Суворов Г.Г.^{1,3}, Трусова С.Н.¹, Загирова С.В.⁵, Курбатова Ю.А.¹

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Россия;

² Национальный исследовательский университет «Высшая Школа Экономики», г. Москва, Россия;

³ Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия;

⁴ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск, Россия;

⁵ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия;

⁶ Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник, пос. Заповедный, Тверская обл., Россия;

*E-mail: vadimmamkin@gmail.com

Ключевые слова: Чистый экосистемный обмен, валовая первичная продукция, экосистемное дыхание, потоки СО₂, метод турбулентных пульсаций.

Растительность болот является одним из важнейших компонентов глобального цикла углерода, а болотные экосистемы, рассматриваются в качестве долговременного стока атмосферного СО₂. Секвестрация диоксида углерода болотами определяется восприимчивостью их валовой первичной продукции (GPP) и экосистемного дыхания (R_{eco}) к изменению условий внешней среды. На территорию Российской Федерации приходится около 32% болот мира. Таким образом, изучение всего многообразия ответных реакций болотных экосистем на территории России к изменению условий внешней среды, связанных в том, числе, с современными изменениями климата, необходимо для глобального и регионального климатического прогноза. Эффективным инструментом оценки влияния факторов внешней среды на болотные экосистемы являются данные прямых долговременных наблюдений за чистым экосистемным обменом (NEE) СО₂ и метеорологическими параметрами. Данное исследование было направлено на изучение зависимости NEE, GPP и R_{eco} от факторов внешней среды 4-х болот, расположенных в условиях средней и южной тайги Европейской территории России и Западной Сибири на основе непрерывных наблюдений за потоками СО₂ и метеорологическими параметрами с помощью эколого-климатических станций. Исследование проводилось на олиготрофных болотах: «Старосельский мох» (FYB, Тверская обл.), «Мухрино» (MUH, Ханты-Мансийский а. о.) и на Бакчарском болоте (PLT, Томская обл.), а также на мезоолиготрофном болоте «Усть-Пожег» (UPO, респ. Коми). Исследование показало, что за период измерений (2015–2022 гг. для FYB, 2012 и 2017 гг. для UPO, 2021–2022 для MUH и 2022 для PLT) все выбранные болота функционировали как сток атмосферного СО₂. Годовые оценки NEE варьировали от -91 до -56 гС·м⁻²·год⁻¹. Оценки летнего периода изменялись от -188 гС·м⁻² до -70 гС·м⁻². Наиболее значительные межгодовые вариации NEE и наиболее значительные величины нетто-поглощения СО₂ наблюдались на среднетаёжном мезоолиготрофном болоте (UPO). Получено, что олиготрофные и мезоолиготрофные болота способны разнонаправленно реагировать на аномально высокие температуры воздуха и дефицит влажности. Таким образом, различия ответных реакций болот разных типов необходимо учитывать в прогнозе процессов обмена подстилающей поверхности и атмосферы в условиях современных изменений климата.

Благодарности.

Данная работа была выполнена при поддержке государственного задания Лаборатории Эколого-Климатических исследований Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (FFER-2025-0001, № 1024100700075-7-1.6.19), 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 бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6), государственного задания Института Биологии Коми ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 125020501547-8), гранта Правительства Тюменской области в рамках программы Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня (Национальный проект «Наука»), государственного задания Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (FWRG-2021-0001 № 121031300154-1) и Программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

Анализ данных и подготовка текста выполнены Мамкиным В.В., Емельяновой Е.Р., Горбarenко Е.М., Курбатовым Е.О., Огурцовыми С.С. и Трусовой С.Н. при поддержке государственного задания Лаборатории Эколого-Климатических исследований Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (FFER-2025-0001, № 1024100700075-7-1.6.19). Данные измерений были получены Авиловым В.К., Дмитриченко А.А., Дюкаревым Е.А., Гуляевым Р.Г., Ивановым Д.Г., Курчевой О.А., Лапшиной Е.Д., Мигловцом М.Н., Суворовым Г.Г., Загировой С.В. и Курбатовой Ю.А. 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 бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6). Первичная обработка данных для станции UPO выполнена Гуляевым Р.Г., Мигловцом М.Н. и Загировой С.В. при поддержке государственного задания Института Биологии Коми ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ 125020501547-8). Первичная обработка данных станции МУН выполнена при поддержке гранта Правительства Тюменской области в рамках программы Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня (Национальный проект «Наука»). Первичная обработка данных станции PLT выполнена Дюкаревым Е.А. при поддержке государственного задания Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (FWRG-2021-0001 № 121031300154-1). Описание объекта исследования для станции FYB выполнено Сандлерским Р.Б. в рамках программы фундаментальных исследований Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

ECOSYSTEM CO₂ FLOWS IN THE SOUTHERN AND MIDDLE TAIGA IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA AND WESTERN SIBERIA ACCORDING TO DATA OF ECOLOGICAL-CLIMATIC STATIONS

Mamkin V.V.^{1,2}, Avilov V.K.¹, Dmitrichenko A.A.³, Dyukarev E.A.^{3,4}, Emelyanova E.R.¹,
Gorbarenko E.M.¹, Gulyaev R.G.⁵, Ivanov D.G.¹, Kurbatov E.O.^{1,2}, Kuricheva O.A.¹, Lapshina E.D.³,
Miglovets M.N.⁵, Mikhailov O.A.⁵, Ogurtsov S.S.^{1,6}, Sandlersky R.B.²,
Suvorov G.G.^{1,3}, Trusova S.N.¹, Zagirova S.V.⁵, Kurbatova Yu.A.¹

¹ A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

² National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia;

³ Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia;

⁴ Institute for Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia;

⁵ Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia;

⁶ Central Forest State Nature Biosphere Reserve, Zapovedny, Tver Region, Russia;

Keywords: Net ecosystem exchange, gross primary production, ecosystem respiration, CO₂ fluxes, turbulent pulsation method

USING CARBON FLUX MEASUREMENTS TO MONITOR AND PROJECT FUTURE CARBON-CLIMATE FEEDBACKS ACROSS THE ARCTIC-BOREAL ZONE

Brendan M. Rogers, Sue Natali, Kyle Arndt, Elchin Jafarov, Christina Schädel, Anna Virkkala

United States of America Woodwell Climate Research Center, Falmouth, MA, USA

e-mail: brogers@woodwellclimate.org

Keywords:

The Arctic-boreal zone is a crucial component of the global carbon cycle, with large carbon stocks and potential for large carbon emissions in the future due to climate change. In this presentation, Dr. Brendan Rogers will describe ongoing efforts to monitor and project CO₂ and CH₄ fluxes across the Arctic-boreal zone. Specifically, he will discuss the state of circumpolar eddy covariance observation sites, efforts to synthesize and upscale data, develop and deploy process-based models, and link bottom-up and top-down approaches.

Секция 2

АДАПТАЦИЯ И МОЛЕКУЛЯРНО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ СРЕДЫ

ADAPTATION OF ARABIDOPSIS THALIANA TO INCREASED LEVELS OF UV-B RADIATION: THE ROLE OF SIGNALING PATHWAYS AND LIGHT RECEPTORS

Abramova A.A.¹, Pashkovsky P.P.¹, Vereshchagin M.V.¹, Kreslavski V.D.²

¹ K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Botanicheskaya Street 35, Moscow 127276, Russia;

² Institute of Basic Biological Problems, Russian Academy of Sciences, Institutskaya Street 2, Pushchino, Moscow Region 142290, Russia;

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

Key words: UV-B radiation, *Arabidopsis thaliana*, flavonoids, antioxidants, photoprotection

Ultraviolet-B radiation (UV-B, 280–320 nm) has a dual effect on plants. On one hand, it causes oxidative stress and DNA damage, while on the other hand, it stimulates protective mechanisms, such as the synthesis of flavonoids and anthocyanins, which possess antioxidant and antibacterial properties. In recent years, UV-B has been actively used in biotechnology to improve plant quality, but the mechanisms underlying adaptation to it are not yet fully understood.

The aim of the study was to investigate the role of key regulatory proteins *HY5*, *SPA*, and *BIC1,2* in the adaptation of *Arabidopsis thaliana* to UV-B stress. It was hypothesized that these proteins coordinate photoprotective mechanisms through the *UVR8* signaling pathway and interact with cryptochromes. *HY5*, activated by *UVR8*, regulates the expression of genes responsible for flavonoid synthesis (e.g., *CHS*) and controls the function of photosystem II, maintaining a balance between light absorption and dissipation. *SPA* stabilizes *HY5* by preventing its degradation through interaction with the *COP1* complex, which promotes the accumulation of antioxidants and flavonoids.

The proteins *BIC1,2* play a crucial role in regulating the interaction between *UVR8* and cryptochromes. In *bic1,2* mutants, disruption of this interaction leads to hyperactivation of *UVR8*-dependent pathways, enhancing the expression of antioxidant defense genes (*APX*, *GPX*) and increasing flavonoid synthesis. This is accompanied by an increase in non-photochemical quenching (NPQ), which protects photosystem II from damage. In contrast, *hy5* mutants exhibit a sharp decline in photosynthetic activity and insufficient NPQ activation, making them more sensitive to UV-B. In *spa* mutants, despite elevated flavonoid levels, impaired water metabolism worsens stress adaptation.

The balance between the activation of photoprotective mechanisms and the maintenance of photosynthesis is key to plant resilience to UV-B. The findings open up prospects for developing strategies for genetic modification of crops to enhance their UV-B tolerance, which is particularly important in the context of a changing climate.

The research was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project no. 23-14-00266).

БЕЛКИ-ИНГИБИТОРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЛЬДА В РАЗВИТИИ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ *TRITICUM AESTIVUM L.*

Коротаева Н.Е.^{1*}, Федяева А.В.², Мусинов К.К.^{2,3}, Сурначёв А.С.^{2,3}, Боровский Г.Б.¹, Салина Е.А.^{2,4}

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск, Россия

² Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия

³ Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции — филиал ИЦИГ СО РАН, р. п. Краснообск, Россия

⁴ Курчатовский геномный центр ИЦИГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия

* E-mail: knev73@yandex.ru

Ключевые слова: белки ингибиторы рекристаллизации льда, *Triticum aestivum L.*, озимая пшеница, регуляция активности генов, фитогормоны

Белки-ингибиторы рекристаллизации льда (ice recrystallization inhibition proteins — IRIP) участвуют в снижении температуры замерзания воды, этот эффект выражен сильнее для животных белков, чем для растительных. Свойство IRIP ингибировать в межклеточном пространстве рекристаллизацию льда, уменьшая его размеры, что защищает ткани, более выражено у растений и проявляется у холодостойких видов. *Triticum aestivum L.* содержит гены *IRI*, которые важны для ее холодовой акклиматации. Для защиты от патогенных поражений растения синтезируют белки с антипатогенной активностью (pathogenesis related proteins — PRP). IRIP растений благодаря своему строению совмещают функции как IRI, так и PR активности, многие PRP (хитиназы, тауматин) обладают антифризной активностью. IRIP пшеницы обнаруживаются в корнях, стеблях, листьях и узле кущения и накапливаются в апопласте. Консервативный фрагмент IRIP на C-конце состоит из повторов NxVxxG, которые для связывания с кристаллами льда образуют бета-спирали, и их количество коррелирует с IRI-активностью. На N-конце IRIP находится LRR-фрагмент, который характерен для PR-белков, а также сигнальный пептид для секреции IRIP во внеклеточное пространство. Промоторы *TaIRI* содержат элементы для гормональной регуляции и ответа на абиотический стресс. Экспрессия генов IRIP и PRP связана с устойчивостью к низким температурам. Так, ген *TaIRI1* активируется при -5°C, а гены *TaIRI3-TaIRI8* — при 4°C, при этом у устойчивых сортов их активность выше. Гены PRP пшеницы со свойствами IRIP также активируются холода, усиливая морозоустойчивость растений, однако, не все они активируются при охлаждении. Активность генов PRP различается у холодостойких и чувствительных к холodu сортов и зависит от продолжительности холодового воздействия. Фитогормоны метилгасмонат и салициловая кислота участвуют в регуляции генов IRIP, роль этилена и АБК не доказана однозначно. Помимо отбора морозоустойчивых сортов по признаку накопления IRIP, показана перспективность использования IRIP *T. aestivum* в медицинской криоконсервации клеток и применение в пищевой промышленности для улучшения текстуры хлебного теста и мороженого.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00117 (<https://rscf.ru/project/25-24-00117/>).

ICE RECRYSTALLIZATION INHIBITOR PROTEINS IN THE DEVELOPMENT OF FROST RESISTANCE IN TRITICUM AESTIVUM L.

Korotaeva N.E.¹, Fedyayeva A.V.², Musinov K.K.^{2,3}, Surnachev A.S.^{2,3}, Borovsky G.B.¹, Salina E.A.^{2,4}

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

² Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³ Siberian Research Institute of Plant Growing and Breeding — Branch of the ICG SB RAS, r.p. Krasnoobsk, Russia

⁴ Kurchatov Genome Center, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

Keywords: ice recrystallization inhibitor proteins, *Triticum aestivum* L., winter wheat, regulation of gene activity, phytohormones

УГЛЕВОД-СВЯЗЫВАЮЩИЕ БЕЛКИ ЛЬНА: ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЯ

Агълямова А.Р.*, Горшков О.В., Горшкова Т.А.

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

*E-mail: aliaglyamova@yandex.ru

Ключевые слова: лён, лектины, углевод-связывающие белки, транскриптом, CrRLK1L

В онтогенезе стебля льна (*Linum usitatissimum*) переход от распределенного к акцентированному скелету в точке слома сопровождается структурными изменениями: лигнификацией вторичной ксилемы, образованием центральной полости и созреванием третичной клеточной стенки во флоэмных волокнах. Эти процессы коррелируют с уменьшением гидравлической проводимости и ростом механической прочности. Анализ транскриптома в зонах стебля выше и ниже точки слома позволил выявить дифференциальную экспрессию генов углевод-связывающих белков, лектинов, которые могут выполнять роль потенциальных участников ростовых процессов в стебле льна.

В исследуемых зонах наблюдается координированное изменение экспрессии генов гомологов FER, THE1 и HERK1, которые, согласно литературным данным, образуют единый сигнальный путь, регулирующий растяжение клеток у *A. thaliana*. Их снижающийся по направлению к основанию стебля профиль экспрессии совпадает с экспрессией аквапоринов группы TIP и коррелирует с завершением фазы клеточного удлинения и началом формирования жестких клеточных стенок.

Экспрессия некоторых генов лектинов имела сходный профиль с генами-маркёрами клеточных стенок определенного типа. Так, профиль экспрессии гена-гомолога ERU имела сходный профиль с генами третичной клеточной стенки. Его экспрессия возрастала к основанию стебля с пиком во флоэмных волокнах, что может свидетельствовать о его потенциальной роли в формировании третичной клеточной стенки, возможно, через регуляцию активности пектинмилэстераз. В зоне, расположенной на 2 см выше точки слома, отмечается повышенная активность генов, ассоциированных с программируемой клеточной гибелью, что может отражать процессы тканевой перестройки в данной области. Параллельно отмечается снижение экспрессии генов семейства LysM, что может свидетельствовать об уменьшении роли иммунного ответа в зрелых тканях стебля.

Таким образом, морфогенез стебля льна сопряжён с изменением экспрессии генов, кодирующих белки с лектиновыми доменами. Полученные данные позволяют предположить, что лектины льна могут выступать в роли мультифункциональных интеграторов, координирующих различные сигнальные пути при формировании тканевой архитектуры стебля.

Работа поддержана грантом РНФ № 24-14-00383.

CARBOHYDRATE-BINDING PROTEINS OF FLAX: POTENTIAL REGULATORS OF PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT

Aglyamova A.R., Gorshkov O.V., Gorshkova T.A.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC KazSC RAS, Kazan, Russia

Keywords: flax, lectins, carbohydrate-binding proteins, transcriptome, CrRLK1L

ВЛИЯНИЕ БИОРЕГУЛЯТОРОВ НА ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХМЕЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО

Аль Хуссейн Д.* , Мостякова. А.А. , Тимофеева О.А.

Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская, 18, Казань, Республика Татарстан, 420008, Россия;

*E-mail: dalal.matar91@gmail.com

Ключевые слова: *Humulus Lupulus L.*, эпин-экстра, гибберсиб, пудрет.

Лекарственные растения играют важную роль в традиционной медицине, предлагая

Натуральные средства для профилактики сердечнососудистых заболеваний, борьбы с воспалениями и снижения риска рака. Благодаря активным химическим соединениям, они широко применяются в фармацевтической промышленности для создания новых лекарств. В пищевой и косметической промышленности такие растения используются как добавки с антиоксидантным и антимикробным эффектом.

Одним из таких ценных растений является *Humulus lupulus L.*, известный как хмель. Этот растительный источник богат как первичными, так и вторичными метаболитами. Среди первичных метаболитов хмеля выделяются кетоны, алканы, сахара, липиды, витамины и аминокислоты. Вторичные метаболиты включают терпеноиды, присутствующие в эфирных маслах хмеля, и различные группы фенольных соединений.

Целью работы было выявление особенностей действия регуляторов роста (гибберсиб и эпин-экстра), а также биоудобрения (пудрет) на фитохимический состав листьев *Humulus lupulus L.*

Посадку корневищных черенков хмеля проводили в начале мая 2023 года в защищенном грунте в лабораторных условиях. Через 4 недели все варианты пересадили в открытый грунт. Листья для анализа собирали через 4, 8, 12, 16 недель.

Фитохимический состав листьев определяли спектрофотометрическим методом.

Полученные нами результаты показывают, что листья хмеля обыкновенного, остающиеся в качестве отходов после сбора соплодий, представляют собой дополнительный и экономически выгодный источник БАВ.

Действие изучаемых регуляторов роста в разные годы различалось, но в целом приводило к повышению содержания биологически активных веществ. Это позволяет рекомендовать использование регуляторов роста и биоудобрений для улучшения качества хмелевого сырья. Установлено, что аналоги природных гормонов (эпин-экстра и гибберсиб) и биоудобрений (пудрет) по-разному усиливают синтез полезных для здоровья метаболитов в хмеле обыкновенном (*Humulus lupulus L.*).

Для достижения стабильных и высоких результатов рекомендуется ежегодно проводить опрыскивание растений регуляторами роста и систематически вносить биоудобрения, что позволит улучшить фитохимический состав растений.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства Казанского федерального университета.

INFLUENCE OF BIOREGULATORS ON THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF COMMON HOPS

Al Hussein D., Mostyakova. A.A., Timofeeva O.A.

Kazan Federal University, Kremlevskaya str., 18, Kazan, Republic of Tatarstan, 420008, Russia;

E-mail: dalal.matar91@gmail.com

Keywords: *Humulus Lupulus L.*, epin-extra, gibbersib, powder.

УСТОЙЧИВОСТЬ К ФОТООКИСЛИТЕЛЬНОМУ СТРЕССУ МОРСКИХ КРАСНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ *AHNFELTIOPSIS* *FLABELLIFORMIS* И *CHONDRUS PINNULATUS*: ВЛИЯНИЕ ЗИМНЕЙ И ЛЕТНЕЙ ТЕМПЕРАТРНОЙ ПРЕАККЛИМАЗИИ

Белоциценко Е.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского»
Дальневосточного отделения Российской академии наук (ННЦМБ ДВО РАН)

*E-mail: belotsitsenko_es@mail.ru

Ключевые слова: макроводоросли, фотоокислительный стресс, антиоксидантные ферменты.

Устойчивость макроводорослей к фотоокислительному (ФОС) стрессу, вызванному высокими интенсивностями падающей солнечной радиации (видимый и УФ свет), определяется балансом между уровнем продукции активных форм кислорода (АФК) и способностью к их нейтрализации ферментативными и неферментативными компонентами антиоксидантной системы (АОС). Сведения о влиянии температурной преакклиматации ферментативного звена АОС на устойчивость макроводорослей к фотоокислительному стрессу ограничены.

В нашей работе экспериментально показано, что одним из механизмов акклиматизации умеренно водных *A. flabelliformis* и *C. pinnulatus* к понижению температуры воды до 5–10 °C является повышение активности антиоксидантных ферментов в их тканях, что способствует устойчивости водорослей к окислительному стрессу и поддержанию ими стабильного уровня фотосинтетической продукции в холодное время года в условиях умеренной освещенности. Однако, несмотря на адаптивные перестройки ферментативной АОС у исследованных видов в период длительного нахождения подо льдом при низких температурах (5–10 °C), дополнительное воздействие на водоросли света высокой интенсивности после схода льда ведет к усилению генерации АФК, о чем свидетельствует интенсификация окислительных процессов — увеличение содержания малонового деальдегида (МДА) в тканях и повышение активности супероксиддисмутазы (СОД) и аскорбатпероксидазы (АПО), а также инактивация каталазы (КАТ) у *A. flabelliformis* и глутатионредуктазы (ГР) — у обоих видов.

В летний период года в условиях высоких температур и умеренной освещенности (период муссонов) у обоих видов зарегистрированы минимальные внутригодовые активности СОД, КАТ, АПО и ГР, что приводило к снижению устойчивости к последующему воздействию высокой освещенности.

Таким образом, экспериментально показано, что при дополнительной нагрузке света высокой интенсивности температурная преакклиматизация на уровне ферментативной АОС водорослей не играют значительной роли в регуляции устойчивости видов к ФОС при низких положительных температурах и обуславливают повышенную чувствительность к ФОС в условиях высоких температур в летний период года.

**RESISTANCE TO PHOTOXIDATIVE STRESS OF MARINE
RED ALGAE *AHNFELTIOPSIS FLABELLIFORMIS*
AND *CHONDRUS PINNULATUS*: INFLUENCE OF WINTER
AND SUMMER TEMPERATURE PREACCLIMATION**

Belotsitsenko E.S.

Federal State Budgetary Scientific Institution
«National Scientific Center of Marine Biology named after A.V. Zhirmunsky»
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences
(NSCMB FEB RAS)

Key words: macroalgae, photooxidative stress, antioxidant enzymes.

БЫСТРЫЕ АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ В ОТВЕТ НА КРАТКОВРЕМЕННОЕ ЗАСОЛЕНИЕ

Будаговская Н.В.

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

E-mail: postnabu@mail.ru

Ключевые слова: засоление, адаптация, рост растений, транспорт воды.

Исследовалось влияние засоления (NaCl) на скорость роста и скорость транспорта воды у растений ячменя, овса, пшеницы, риса, кукурузы и гречихи в кратковременных (ч) и более длительных (многодневных) экспериментах. Зарегистрированы двухфазные ответные адаптивные реакции растений на кратковременное засоление: быстрая фаза (мин) связана с тургорными изменениями (снижение и восстановление тургора листьев и более медленная фаза (ч), связанная со снижением и последующим восстановлением скорости роста листьев вследствие адаптивных процессов, зависящих от биосинтезов *de novo* протекторных соединений (глицинбетаин). Растения, не способные синтезировать в условиях засоления осмопротектор глицинбетаин (рис), проявляли более низкую солеустойчивость. У них прекращался рост стеблей и листьев при концентрациях соли, при которых рост этих органов у растений, способных синтезировать глицинбетаин, продолжался. У растений риса не было отмечено двухфазной ответной реакции листьев на внесение NaCl в зону корней. Добавление экзогенного глицинбетаина повышало солеустойчивость растений риса. Высокий уровень засоления приводил к значительному падению тургора листьев и стеблей и сжатию их тканей у всех исследованных растений в результате снижения их оводненности. Транспорт воды в корнях растений при этом нарушался: водонагнетающая активность корней прекращалась и отмечалось обращение водного потока из корней во внешнюю среду. Рост растений в таких условиях угнетался. Уменьшение концентрации NaCl в наружной среде восстанавливало тургор листьев и стеблей и увеличивало скорость роста растений и водный транспорт в них.

Таким образом, важной причиной снижения скорости роста растений при засолении является нарушение водного обмена, обусловленного повышенными концентрациями NaCl в наружной среде. Более высокий уровень солеустойчивости отмечен у растений с генетически детерминированным синтезом осмопротектора глицинбетаина. У таких растений выявлена двухфазная адаптивная реакция в ответ на кратковременное засоление, что может являться диагностическим показателем солеустойчивости.

RAPID ADAPTIVE RESPONSES OF PLANTS IN RESPONSE TO SHORT-TERM SALINITY

Budagovskaia N.V.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Key words: salinity, adaptation, plant growth, water transport.

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ, КАК ФАКТОР АДАПТАЦИИ СОРТОВ К ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ

Быковская И.А., Осипова Л.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)
г. Москва, Россия
E-mail: bykovskaya_irina@bk.ru

Ключевые слова: минеральное питание, сорта, стресс-фактор, адаптация

Минеральное питание является важным аспектом, который вносит значительный вклад в устойчивое развитие сельского хозяйства. Получение высоких урожаев, является залогом продовольственной безопасности страны. Абиотический стресс, индуцированный дисбалансом питания, ухудшает рост растений, изменяет реакцию растений к стресс-факторам и тем самым приводит к снижению урожая. Адаптация к факторам среды, является одним из важнейших требований, предъявляемых к сортам. Целью настоящей работы было изучение влияние минерального питания на адаптивные способности пяти сортов ярового ячменя с разной родословной. Для реализации поставленной цели были проведены эксперименты на двух фонах минерального питания, как приема регулирования адаптивных способностей сортов ярового ячменя в оптимальных условиях и при действии стресс-фактора.

Реакция сортов на почвенную засуху зависела от уровня минерального питания. Сорта отзывчивые на повышение фона питания отличались большим торможением ростовых функций при развитии осмотического стресса и активизации reparационных процессов после окончания действия неблагоприятных факторов. Высокий фон питания снижал поглотительную способность корневой системы во время стресса и в первые сутки после его окончания, однако дальнейший анализ поступления меченого азота (^{15}N) в растения показал значительное возрастание активности корней и переход поступившего ^{15}N в белки надземной массы. Сорта, не реагирующие на возрастание минерального фона при действии абиотических стрессов, отличались низкой величиной нетто-ассимиляции из-за повышенной интенсивности темнового дыхания, меньшей водоудерживающей способностью листьев верхнего яруса, слабо выраженными восстановленными процессами.

MINERAL NUTRITION AS A FACTOR OF ADAPTATION OF VARIETIES TO SOIL DROUGHT

Bykovskaya I.A., Osipova L.V.

Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov» (FSBSI «All-Russian Research Institute of Agrochemistry»)
Moscow, Russia

Key words: mineral nutrition, varieties, stress factor, adaptation

РОЛЬ МЕЛАТОНИНА В РЕГУЛЯЦИИ ДЫХАНИЯ У МУТАНТОВ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПО ГЕНАМ РЕЦЕПЦИИ И СИНТЕЗА БРАССИНОСТЕРОИДОВ

Бычков И.А.*¹, Кудрякова Н.В., Кузнецов В.В., Шугаев А.Г., Буцанец П.А., Шугаева Н.А.

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

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

Ключевые слова: *Arabidopsis*, мелатонин, фотостресс, дыхание, фитогормоны

Мелатонин — мультифункциональная молекула, сочетающая сигнальные свойства регулятора интегральных физиологических процессов с ролью антистрессового агента. Особый интерес представляет анализ экспрессии генов, участвующих во взаимодействии мелатонина и фитогормонов как потенциальных посредников в реализации функций этого регулятора. В наших исследованиях мы показали роль мелатонина и брассиностероидов в регуляции ответа растений на фотоокислительный стресс. Свет высокой интенсивности ($600 \text{ мкм} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$, 24 ч) снижал интенсивность дыхания листьев, а также резко увеличивал максимальную активность альтернативной оксидазы у дикого типа. Это также подтверждалось на уровне регуляции накопления транскриптов гена альтернативной оксидазы (*AOX1a*), а также генов всех дыхательных комплексов. Мутанты по гену синтеза (*det²*) и рецепции (*bri1-6*) брассиностероидов были похожи на дикий тип в изменении активности альтернативной оксидазы. Однако экспрессия многих дыхательных генов не изменялась у мутантов или была даже противоположно направленной (больше характерно для *bri1-6*). В нормальных условиях мелатонин не влиял на изучаемые показатели, при этом снижал уровень стрессового воздействия у всех генотипов. Добавление брассинолида слабо увеличивало показатели всех видов дыхания в нормальных условиях, однако не влияло на растения в условиях стресса.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант №23-14-00011

THE ROLE OF MELATONIN IN THE REGULATION OF RESPIRATION IN *ARABIDOPSIS THALIANA* MUTANTS FOR RECEPTION AND BRASSINOSTEROID SYNTHESIS GENES

Bychkov I.A., Kudryakova N.V., Kuznetsov V.V., Shugaev A.G., Butsanets P.A., Shugaeva N.A.

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

Key words: *Arabidopsis*, melatonin, photostress, respiration, phytohormones

УЧАСТИЕ ДЕГИДРИНОВ В УСТОЙЧИВОСТИ БЕРЕЗЫ К КОНТРАСТНЫМ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ СЕВЕРА

Васильева И.В.^{1*}, Татаринова Т.Д.¹, Ветчинникова Л.В.², Пономарев А.Г.¹, Перк А.А.¹

¹ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

²ФГБУН Институт леса ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

*E-mail: ira_spira_vas@mail.ru

Ключевые слова: *Betula L.*, дегидрины, сезонная динамика, Карелия, Якутия

В процессах адаптации растений к холodu важная роль отводится дегидринам, относящимся к группе стрессовых белков и участвующим в формировании защиты биополимеров и мембран клеток от повреждений, вызванных обезвоживанием. В этой связи, представляется актуальным изучение дегидринов в почках березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающих на одной широте — 62° с. ш., но удаленных друг от друга в долготном направлении — 34° и 130° в. д. (окрестности г. Петрозаводска и г. Якутска соответственно) более чем на 5 тыс. км, что обуславливает значительные различия их местообитаний по природно-климатическим условиям.

Проведенные исследования позволили выявить не только общие черты, но и определенные различия в характере накопления дегидринов в почках березы повислой в зависимости от места произрастания ее деревьев. Так, независимо от природно-климатических условий обнаружены низкомолекулярные дегидрины с м. м. 14–21 кД, преобладающим из которых является 17 кД. При этом их уровень характеризуется явно выраженной сезонной динамикой в сторону увеличения в осенне-зимний период. Показано, что содержание дегидринов и их внутривидовой полиморфизм в почках березы существенно выше в условиях Якутии по сравнению с Карелией. Исчезновение дегидринов в летние месяцы и более быстрое их накопление осенью также происходит по времени раньше в Якутии, чем в Карелии. Эти различия, по-видимому, обусловлены особенностями метаболизма березы повислой, которые сформировались у нее в процессе эволюции в специфических условиях криолитозоны под воздействием экстремально низких зимних температур, а также резкого их повышения в весенний период и более раннего снижения осенью. Следует отметить, что у других видов березы (*B. pendula var. carelica* и *B. pubescens*), произрастающих в условиях Карелии, внутри- и межвидовой полиморфизм мажорных дегидринов не обнаружен.

Таким образом, выявлено сходство в составе дегидринов и однотипный характер сезонных изменений их накопления в почках *B. pendula*, произрастающей в контрастных природно-климатических условиях Севера. Вместе с тем, стабильно высокий уровень стрессовых белков-дегидринов зимой, в период сверхнизких отрицательных температур, указывает на их вероятное участие в механизмах формирования устойчивости растений к условиям криолитозоны.

PARTICIPATION OF DEHYDRINS IN THE RESISTANCE OF BIRCH TO CONTRASTING NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE NORTH

Vasileva I.V.¹, Tatarinova T.D.¹, Vetchinnikova L.V.², Ponomarev A.G.¹, Perk A.A.¹

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

²Forest Institute, Karelian Research Center RAS, Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Betula L.*, dehydrins, seasonal dynamics, Karelia, Yakutia

РОЛЬ МИКРОРНК-408 И МИКРОРНК-159 В ЗАЩИТНОМ ОТВЕТЕ РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ НА ИНФИЦИРОВАНИЕ ГРИБНЫМ ПАТОГЕНОМ *STAGONOSPORA NODORUM* (BERK.)

Веселова С.В.*, Бурханова Г.Ф., Нужная Т.В., Румянцев С.Д., Максимов И.В.

Институт биохимии и генетики - обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского Федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия,

*E-mail: veselova75@rambler.ru

Ключевые слова: РНК интерференция, микроРНК, фитогормоны, некротрофные эффекторы, сигнальные системы.

В последнее время использование малых РНК и механизма РНК интерференции (РНКи) в защите растений от патогенов получает более широкое распространение, особенно после открытия двунаправленного переноса микроРНК между двумя организмами при растительно-микробном взаимодействии и способности некоторых грибковых патогенов поглощать двуцепочечные РНК (дцРНК) из окружающей среды. В связи с этим данная работа была направлена на выявление способности консервативных пшеничных микроРНК-159 и микроРНК-408 регулировать защитные гормональные пути у растений, проникать в организм патогена *Stagonospora nodorum* и подавлять его вирулентность. Для этого были сконструированы и синтезированы дцРНК159 и дцРНК408.

Главными факторами вирулентности патогена *S. nodorum*, вызывающего септориоз пшеницы, считаются некротрофные эффекторы (НЭ), кодируемые генами *SnTox*, регуляция экспрессии которых осуществляется недавно открытыми факторами транскрипции (ТФ) гриба. В данной работе был изучен изолят патогена *S. nodorum* SnB, синтезирующий НЭ *SnTox*³, который захватывает сигнальный путь этилена и использует его для подавления накопления активных форм кислорода и одновременного подавления сигнального пути салициловой кислоты (СК), участвующего в развитии устойчивости растений к патогену.

Результаты работы показали, что экспрессия микроРНК-159 и микроРНК-408 повышалась у устойчивого сорта и снижалась у восприимчивых сортов пшеницы при инфицировании изолятом *S. nodorum* SnB. Обработка растений дцРНК159 и дцРНК408 повышала устойчивость к SnB и ингибировала его рост и развитие, индуцируя при этом экспрессию генов СК-сигнального пути и подавляя экспрессию генов этиленового сигнального пути, в том числе, посредством замалчивания транскрипции генов-мишеней. Впервые была показана способность дцРНК159 и дцРНК408 проникать в мицелий патогена *S. nodorum* и подавлять экспрессию некоторых генов НЭ и грибных ТФ.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-00266.

ROLE OF MICRORNA-408 AND MICRORNA-159 IN THE DEFENSE RESPONSE OF WHEAT PLANTS TO INFECTION WITH THE FUNGAL PATHOGEN *STAGONOSPORA NODORUM* (BERK.)

Veselova S.V., Burkhanova G.F., Nuzhnaya T.V., Rumyantsev S.D., Maksimov I.V.

Institute of Biochemistry and Genetics - a separate structural subdivision of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia,

Keywords: RNA interference, microRNA, phytohormones, necrotrophic effectors, signaling systems.

РОСТ И РАЗВИТИЕ АПИКАЛЬНОЙ МЕРИСТЕМЫ ПОБЕГОВ КАРЕЛЬСКОЙ БЕРЕЗЫ *IN VITRO* В УСЛОВИЯХ УКОРОЧЕННОГО И УДЛИНЕННОГО СВЕТО-ТЕМНОВЫХ ЦИКЛОВ

Ветчинникова Л.В.^{1*}, Шибаева Т.Г.², Гудкова К.А.¹, Левкин И.А.², Титов А.Ф.²

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

² Институт биологии, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

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

Ключевые слова: *Betula pendula* var. *carelica*, культура *in vitro*, свето-темновые циклы

Изучено влияние укороченного (8/4 ч, свет/темнота) и удлиненного (48/24 ч) свето-темновых циклов (СТЦ) на рост и развитие апикальной меристемы побегов карельской березы (*Betula pendula* Roth var. *carelica* (Mercklin) Hämet-Ahti) в культуре *in vitro*. Показано, что в условиях укороченного СТЦ происходит снижение скорости увеличения массы побегов (по сравнению с контрольным вариантом — 16/8 ч) за счет торможения роста новых пазушных побегов и листовых пластинок (в 1,2 и 1,3 раза относительно контроля, соответственно). Однако масса стеблей оставалась при этом близкой к контролю или несколько ее превышала. По-видимому, это связано с тем, что апикальная меристема в культуре тканей является миксотрофной и сахароза, содержащаяся в питательной среде, использовалась преимущественно на формирование тканей стебля. Общая биомасса (побегов и каллуса, сформировавшегося в их основании) при СТЦ 8/4 ч была ниже (в 1,4 раза) по сравнению с контрольным вариантом. В условиях удлиненного СТЦ (48/24 ч), наоборот, наблюдали увеличение не только числа и массы вновь образованных пазушных побегов, но и их размера. Важно, что стимулирующее влияние на формирование пазушных побегов проявилось в данном варианте уже на 5-е сут от начала опыта, что оказалось на 3–4 сут раньше, чем в других вариантах (СТЦ 16/8 и 8/4 ч). В то же время, по количеству листьев и их общей массе СТЦ 48/24 ч не отличался от контроля.

Таким образом, на примере апикальной меристемы побегов карельской березы в условиях *in vitro* показана возможность и целесообразность использования разных СТЦ, от которых во многом зависят как эффективность размножения и морфогенез, так и жизнеспособность меристемы в целом. В частности, удлиненный СТЦ 48/24 ч способствует увеличению числа пазушных побегов и их развитию, что повышает эффективность клonalного микроразмножения. Укороченный же СТЦ 8/4 ч, наоборот, сдерживая образование побегов, способствует тем самым сокращению частоты их субкультивирования (переноса на свежую среду) в период межсезонья, что позволяет не только снизить общие трудозатраты, но и перейти на более экономный режим энергопотребления (с учетом имеющихся различий в тарифах на электроэнергию в разное время суток).

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-16-00160).

GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE APICAL MERISTEM OF KARELIAN BIRCH SHOOT *IN VITRO* UNDER CONDITIONS OF SHORTENED AND EXTENDED LIGHT-DARK CYCLES

Vetchinnikova L.V.¹, Shibaeva T.G.², Gudkova K.A.¹, Levkin I.A.², Titov A.F.²

¹ Institute of Forestry, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

² Institute of Biology, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Betula pendula* var. *carelica*, *in vitro* culture, light-dark cycles

НОВЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ВЫСШИХ РАСТЕНИЯХ *IN VITRO*

Вильянен Д.В.*[,] Козулева М.А.

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Пущино, Россия

*E-mail: vilyadar@gmail.com

Ключевые слова: фотосинтетический контроль, DNP-INT, DBMIB, цитохромный b_f комплекс

Эволюционно растения выработали ряд приспособительных механизмов, позволяющих им тонко регулировать свой метаболизм в изменяющихся условиях среды. При повышенной освещенности в растениях активируется несколько уровней защиты фотосинтетического аппарата от фотоингибиции. Один из них — фотосинтетический контроль (ФК), активируется при закислении люмена в процессе работы фотосинтетической электрон-транспортной цепи хлоропластов и представляет собой замедление окисления пластохинола (PQH_2) в хинол-окисляющем сайте (Qo-сайте) цитохромного (цит.) b_f комплекса. Этот механизм чрезвычайно важен для приспособления растений к резким изменениям освещенности, однако детали его функционирования до сих пор остаются неизвестными. Один актуальных вопросов — каким образом Qo-сайт, будучи структурно изолированным от люмена, «чувствует» его закисление?

В данной работе мы исследовали Qo-сайт цит. b_f комплекса в изолированных тилакоидах шпината, гороха и арабидопсиса. С помощью конкурентных ингибиторов окисления PQH_2 в Qo-сайте, чувствительных к рН среды — DNP-INT и DBMIB — мы показываем, что в регуляции окисления PQH_2 играют роль протон-акцепторные группы Qo-сайта, E78 от субъединицы IV и H128 от железо-серного белка Риске. Протонированное состояние этих остатков препятствует связыванию и окислению PQH_2 в Qo-сайте. Обобщая результаты наших экспериментов и литературные данные, мы приходим к выводу, что продолжительное время жизни протонированного состояния E78 и H128 вызвано затрудненным оттоком протонов от них в люмен по специальным протон-выводящим каналам (Е-канал и Н-канал, соответственно). Эти каналы ранее были частично разрешены в кристаллических структурах цит. b_f комплекса, однако концепция их роли в активации ФК не была сформулирована. С помощью соединений, экранирующих отрицательно заряженные аминокислоты (Asp, Glu), а также с помощью мутантных растений арабидопсиса с нарушенным ФК (*pgr1*), мы показываем, что Е- и Н-каналы по мере закисления люмена менее эффективно сбрасывают протоны в люмен и с меньшей эффективностью депротонируют от E78 и H128, что приводит к увеличению времени жизни протонированных состояний последних и активирует ФК.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 25-24-00597; <https://rscf.ru/project/25-24-00597/>).

NEW ASPECTS OF IN VITRO STUDY OF PHOTOSYNTHETIC CONTROL IN HIGHER PLANTS

Viljanen D.V., Kozuleva M.A.

Institute of Fundamental Problems of Biology RAS, Pushchino, Russia

Keywords: photosynthetic control, DNP-INT, DBMIB, cytochrome b_f complex

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА СЛОЖНОЦВЕТНЫХ ПРИ ПРОИЗРАСТАНИИ В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ КАЛМЫКИИ

Волошина Т.В.,* Онкорова Н.Т., Антонова Ю.О.

ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», Элиста, Россия

*E-mail: tat-vol.94@mail.ru

Ключевые слова: Оводненность, интенсивность транспирации, рост, продуктивность. Цмин песчаный, Гринделия растопыренная, Одуванчик лекарственный.

Территория Калмыкии относится к аридной зоне, где ведущими экологическими факторами для растений являются дефицит влаги, засоленность почв и подземных вод. Они способствовали развитию у растений экологической пластичности, формирование комбинированных экологических групп, которые более полно отражают пестроту условий местообитаний. Из 125 видов семейства Сложноцветные, Астровые (*Asteraceae*), произрастающих в Калмыкии много лекарственных растений. Среди них важное значение имеют Одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.), Цмин песчаный (*Helichrysum arenarium*) и менее известная Гринделия растопыренная (*Grindelia squarrosa* L), препараты которых обладают целым рядом полезных воздействий.

Проведено исследование некоторых физиологических параметров этих лекарственных растений, относящихся к разным группам по отношению к водному режиму. Одуванчик — мезофит, гринделия — ксеромезофит, Цмин — ксерофит. Так как физиологические особенности данных культур произрастающих в Калмыкии, исследованы далеко недостаточно, проведено на фазе цветения сравнительное изучение водного статуса и ростовых процессов, составляющих основу производственного процесса растений. Установлено, что изучаемые виды лекарственных растений, произрастающие в засушливых условиях, различались по величине общей оводненности листьев и целого растения, интенсивности транспирации, высоте, накоплению сырой и сухой биомассы.

Установлено, что одуванчик, являясь мезофитом, имел более высокое содержание воды 85% по сравнению с гринделией, оводненность которой составляла 63% и цмином с 52% воды. Показано, что изучаемые растения различались по интенсивности транспирации и характеру ее изменчивости в онтогенезе. Интенсивность транспирации больше у цмина, затем идет гринделия и меньше всего терял воды одуванчик. Анализ ростовых параметров позволил установить, что они распределялись по высоте в следующей последовательности гринделия, цмин, одуванчик. на фазе цветения и существенно не изменялась при последующем развитии. Гринделия отличалась также накоплением наибольшей сырой и сухой биомассы по сравнению с другими изучаемыми лекарственными культурами. Этот вид в Калмыкии в последние годы существенно расширил ареал, по-видимому, в силу своей экологической пластичности и физиологических особенностей. Полученные данные вносят вклад в понимание адаптации растений и физиологических механизмов устойчивости растений к изменяющимся условиям среды.

PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOME MEDICINAL PLANTS OF THE FAMILY ASTEROACEAE GROWING IN ARID CONDITIONS OF KALMYKIA

Voloshina T.V., Onkorova N.T., Antonova Yu.O.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikov", Elista, Russia

Keywords: Water content, transpiration intensity, growth, productivity. *Helichrysum arenarium*, *Grindelia divergent*, *Dandelion officinalis*.

СЦЕНАРИИ КСИЛОГЕНЕЗА КАК ОСНОВА АДАПТАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ДИАПАЗОНУ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ (БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ)

Галибина Н.А.*¹, Мощенская Ю.Л.¹, Никерова К.М.¹, Тарелкина Т.В.¹, Корженевский М.А.¹, Померанец А.К.¹, Серкова А.А.¹, Софонова И.Н.¹, Афошин Н.А.¹

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

*E-mail: 181102@male.ru

Ключевые слова: камбимальная активность, структурные аномалии стволов, зоны дифференциации флоэмных и ксилемных производных камбия, транскриптомный анализ, гормональный, сахарозный и АФК сигналинги

Распределение и длительное депонирование углерода в фитомассе древостоя относится к основным его пулам в лесных экосистемах. Этапы дифференциации камбимальных производных в элементы ксилемы и флоэмы включают рост клеток растяжением, формирование вторичной клеточной стенки, а в случае волокон, сосудов и ситовидных элементов – программируемую клеточную смерть. Нишу стволовых клеток рассматривают как уникальную и стабильную клеточную сигнатуру, которая, благодаря слиянию сигналов, полученных из ксилемы и флоэмы (гормоны, низкомолекулярные пептиды, факторы транскрипции и др.), и их многоуровневому взаимодействию, (1) поддерживает идентичность стволовых клеток и (2) немедленно определяет их судьбу, когда они покидают эту особую среду. Особенностью наших исследований является изучение ксило- и флоэмогенеза у древесных растений в ходе отклонений от нормального роста и развития проводящих тканей (деревья березы повислой (*Betula pendula* var *pendula*) и ее формы карельской березы (*B. pendula* var. *carelica*) с узорчатой древесиной ствола). Предложены схемы взаимодействия пептидного и ауксинового сигналингов в регуляции путей дифференциации камбимальных инициалей. Показано, что изменение сценариев дифференциации производных камбимальных инициалей у карельской березы связано с активацией транскрипции генов. В узорчатых участках карельской березы нарушен процесс энуклеации при формировании ситовидных элементов флоэмы и возрастает доля паренхимных клеток. При этом увеличена активность ферментов АОС и изменены пути утилизации сахарозы. Даные транскриптомных исследований выявили недостающие звенья, демонстрирующие взаимосвязанную работу ауксинового и АФК-сигналингов при изменении сценария ксилогенеза. Выявленные метаболические схемы могут быть использованы при обсуждении метаболических путей в развивающихся тканях ксилемы других лесообразующих древесных пород в связи со снижением или замедлением в них камбимальной активности.

Работа выполнена в рамках реализации ВИПГЗ «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации ...», а также при финансовой поддержке из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

XYLOGENESIS SCENARIOS AS A BASIS FOR ADAPTATION OF WOODY PLANTS TO A RANGE OF FOREST CONDITIONS (BIOCHEMICAL AND MOLECULAR MECHANISMS)

Galibina N.A., Moshchenskaya Yu.L., Nikerova K.M., Tarelkina T.V.,
Korzhenevsky M.A., Pomeranets A.K., Serkova A.A., Sofronova I.N., Afoshin N.A.

Forest Institute — a separate division of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center “Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Petrozavodsk, Russia;

Keywords: cambial activity, structural anomalies of the trunk, zones of differentiation of phloem and xylem derivatives of cambium, transcriptome analysis, hormonal, sucrose and ROS signaling

ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ С3-, С4- И САМ-РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СЕВЕРЕ

Головко Т.К., Шелякин М.А., Захожий И.Г., Малышев Р.В., Силина Е.В.

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия

E-mail: golovko@ib.komisc.ru

Ключевые слова: фотосинтез, дыхание, биоэнергетика, температура, Север.

Изучение энерго-пластического обмена является важной предпосылкой для понимания распространения, функциональной пластичности и механизмов формирования адаптивных реакций растений. Работы в этом направлении приобретают все большую значимость в связи с изменениями климата. За последние десятилетия в центральных районах Республики Коми сумма активных температур ($>10^{\circ}\text{C}$) увеличилась с 1400 до 1600 $^{\circ}\text{C}$, а продолжительность вегетационного периода — с 88 до 95 дней. В отдельные годы среднесуточная температура самого теплого месяца июля превышала многолетние значения на 5–7 $^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха днем в тени достигала 30 $^{\circ}\text{C}$ и более. Аномально теплые периоды нередко сопровождались засухой и водным дефицитом. Для выявления эффектов повышенной температуры нами были проведены сравнительные исследования показателей фотосинтеза и дыхания листьев трех видов растений, отличающихся по типу углеродного метаболизма. Следует отметить, что природная флора и используемые в северном растениеводстве культуры представлены типичными С3-видами. В качестве объекта с С3 фотосинтезом использовали *Plantago media* (подорожник средний). Среди травянистых растений бореальной флоры был обнаружен *Hylotelephium triphyllum* (очитник трехлистный), способный индуцировать переход с С3 на САМ тип фотосинтеза. Представителем С4-фотосинтеза служили растения раннеспелых гибридов *Zea mays*, выращиваемые в полевых условиях. В полуденные часы при высокой температуре и освещенности наибольшую скорость нетто-фотосинтеза (Pn), 10–13 мкмоль $\text{CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, демонстрировали листья кукурузы, величина Pn подорожника была в 3–4 раза ниже. У очитника отмечали сильную депрессию видимого поглощения CO_2 , что сопровождалось значительной активацией альтернативного дыхания и процессов, связанных с нефотохимическим тушением поглощенной световой энергии. Синхронное усиление диссипации энергии в хлоропластах и митохондриях листьев подорожника и очитника снижает эффективность ее использования, но способствует уменьшению генерации АФК в ЭТЦ, предотвращая, тем самым, развитие фотоокислительного стресса. Кукуруза проявляла более высокую устойчивость ключевых биоэнергетических процессов к повышению температуры.

Работа выполнена по теме НИР № 125020301262–2 на средства федерального бюджета

PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION OF C3, C4 AND SAM PLANTS UNDER CONDITIONS OF INCREASING TEMPERATURE IN THE NORTH

Golovko T.K., Shelyakin M.A., Zakhozhiy I.G., Malyshhev R.V., Silina E.V.

Institute of Biology, Komi Science Center,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Keywords: photosynthesis, respiration, bioenergetics, temperature, North.

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Головко Т.К., Табаленкова Г.Н., Силина Е.В., Малышев Р.В.

Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия
E-mail: golovko@ib.komisc.ru

Ключевые слова: кукуруза, продуктивность, фотосинтез, Север

Современные тенденции экспансии сельского хозяйства в северные регионы обусловлены климатическими изменениями. Заметное потепление в Северном полушарии создает условия для расширения ассортимента культивируемых растений. Кукуруза — ценная кормовая и зерновая культура субтропического происхождения, относится к группе теплолюбивых и характеризуется C4 — типом углеродного метаболизма. Появление раннеспелых и холодостойких гибридов, усовершенствование технологий (капсулирование и прайминг семян, высадка в гряды и др.) позволяют выращивать кукурузу на зеленую массу в Сибири и на севере Нечерноземья. Опыты с раннеспелыми гибридами в среднетаежной зоне Республики Коми ($61^{\circ}40' с. ш.$, $50^{\circ} 49' в. д.$) показали возможность получения 400–500 ц/га зеленой массы, не уступающей по качеству севенным злаковым травам. В целях более детального изучения производственного процесса исследовали показатели фотосинтеза, дыхания и про-/антиоксидантный метаболизм листьев кукурузы.

Установлено, что при близкой к насыщающей освещенности в диапазоне оптимальных температур ($20\text{--}30^{\circ}\text{C}$) зрелые листья ассимилировали со скоростью $15\text{--}17 \text{ мкмоль CO}_2/\text{м}^2\text{с}$, что ниже значений, регистрируемых на юге, в типичных районах культивирования кукурузы. Температуры за пределами оптимального диапазона снижали нетто-фотосинтез, но не оказывали существенного влияния на фотохимическую эффективность ФС2. Исследования последействия охлаждения на функциональные показатели молодых растений (фаза 3–4 листьев) выявили, что экспозиция при низкой положительной температуре (7 ночей при 6°C) вызывала повышение уровня активности ключевых ферментов антиоксидантной защиты на фоне значительного увеличения содержания пероксида водорода. Накопление H_2O_2 , по-видимому, приводило к активации стресс-ассоциированных генов, способствующих акклиматации растений и предотвращению холодового повреждения. Опытные растения проявляли высокую толерантность цитохромного дыхания к снижению температуры, сохраняли сравнительно высокую потенциальную фотохимическую эффективность ФС2 и быстро восстанавливали ассимиляцию CO_2 после ночного охлаждения. В результате они мало отличались от контрольных по накоплению биомассы.

Работа выполнена по теме НИР №125020301262-2 на средства федерального бюджета

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY AND ACCUMULATION OF GREEN MASS OF CORN IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL AGROCLIMATE REGION OF THE KOMI REPUBLIC

Golovko T.K., Tabalenkova G.N., Silina E.V., Malyshev R.V.

Institute of Biology of the Komi Scientific Center,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia
E-mail: golovko@ib.komisc.ru

Keywords: corn, productivity, photosynthesis, North

МЕТАБОЛИЗМ ОКСИЛИПИНОВ В *ELEUSINE CORACANA*: ОБНАРУЖЕНИЕ ФЕРМЕНТА С МНОЖЕСТВЕННОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Горина С.С.* , Ланцова Н.В., Ильина Т.М., Топоркова Я.Ю., Гречкин А.Н.

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

*gsvetlana87@gmail.com

Ключевые слова: оксилипины, *Eleusine coracana*, ферменты CYP74

Успешная адаптация растений к неблагоприятным условиям среды и поддержание гомеостаза обеспечивается широким спектром различных метаболитов, одними из которых являются оксилипины — продукты окисления полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), образующиеся как при участии ферментов, так и не ферментативным путем. Основным источником оксилипинов в растениях является липоксигеназный каскад, производящий дивиниловые эфиры, летучие альдегиды, гидроперокси-, гидрокси-, оксо- и эпокси-производные жирных кислот, жасмонаты и др. Ключевыми ферментами этого пути, наряду с липоксигеназами (ЛОГ), являются ферменты CYP74: алленоксидсингтазы (АОС), дивинилэфирсингтазы (ДЭС), гидропероксидиазы (ГПЛ) и эпоксиалкогольсингтазы (ЭАС). Регио- и стереоспецифическое окисление ПНЖК при участии ЛОГ разделяет путь на 9- и 13-ветви. Одни из наиболее изученных оксилипинов — жасмонаты — принадлежат к продуктам 13-ветви ЛОГ каскада.

В ходе наших исследований был клонирован и охарактеризован ряд ферментов CYP74 *E. coracana*, отвечающих за формирование соответствующих оксилипинов в надземной и подземной части растения. Проведённый нами анализ профилей оксилипинов, выполненный методом газовой хромато-масс-спектрометрии показал, что в надземной части растения преобладают продукты 9-ветви ЛОГ каскада, а именно — продукты АОС и в меньшем количестве продукты ЭАС и ГПЛ ветвей. При этом в корнях основными оксилипинами являются продукты 9-ЭАС пути. Среди охарактеризованных ферментов CYP74 *E. coracana* описаны классические АОС (ответственные за образование кетолов и 12-ОФДК — предшественника жасмонатов) и ЭАС (ответственные за образование эпоксиспиртов), а также фермент, обладающий множественной активностью, катализирующий образование эпоксиспиртов, дивиниловых эфиров и необычных для ферментов CYP74 продуктов — макролактонов. Лактоны образуют основную структуру многих натуральных продуктов и фармацевтических препаратов.

Биоинформационный анализ и культивирование E. coracana проводились при финансовой поддержке государственного задания Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук». Исследования ферментов CYP74 проводились при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-14-00350).

OXYLIPIN METABOLISM IN *ELEUSINE CORACANA*: DETECTION OF AN ENZYME WITH MULTIPLE ACTIVITIES

Gorina S.S., Lantsova N.V., Ilyina T.M., Toporkova Ya.Yu., Grechkin A.N.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: oxylipins, *Eleusine coracana*, CYP74 enzymes.

ВЛИЯНИЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА РАСТЕНИЯ-ФИТОРЕМЕДИАНТЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ФИТОКОНВЕЙЕРА ДЛЯ ОЧИСТКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЫ

Григориади А.С.*¹, Сотникова Ю.М.¹, Фархутдинов Р.Г.¹

Уфимский университет науки и технология, Уфа, Россия

* E-mail: nysha111@yandex.ru

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, фиторемедиация, биопрепараты, фитоконвейер.

Проблема нефтяного загрязнения почвы остается острой проблемой, требующей решения. Основные физико-химический и механические методы не позволяют удалять загрязнение полностью и такие территории остаются исключенными их сельскохозяйственного пользования. Методы фиторемедиации, основанные на взаимодействии микроорганизмов и растений, позволяют решить вопрос разрушения остаточных нефтяных углеводородов в почве. Однако использование нескольких видов растений расширяет возможности и эффективность метода. Нами была предложена технология фитоконвейера для очищения и восстановления нефтезагрязненной почвы, включающая последовательное выращивание трех видов растений (*Helianthus annuus* L. сорт Бомбардир, *Secale cereale* L. сорт Татьяна, и *Medicago sativa* L. сорт Надежда) в комплексе с обработкой биопрепаратами разнонаправленного действия). Целью исследования являлась оценка влияния подобранных препаратов на растений-фиторемедианты при реализации предложенной технологии.

В эксперименте был использован чернозем, искусственно загрязненный товарной нефтью в концентрации 4%. Предварительно почву обрабатывали углеводородокисляющим препаратом Ленойл — NORD, с состав которого входят бактерии *Pseudomonas turukhanskensis* ИБ 1.1. Через 30 суток проводили посев семян подсолнечника, обработанных препаратом -нейтрализатором пестицидного стресса Агробиолог на основе *Pseudomonas protegens* DA1.2. с последующим еженедельным опрыскиванием всходов этим препаратом. Через месяц проводился анализ основных параметров первого растения-фиторемедианта, его удаление из вегетационных сосудов и посев семян ржи в качестве второго этапа с аналогичной обработкой на срок 1 месяц. На заключительном этапе технологии выращивали растения люцерны для естественного восстановления биологическим путем азотного баланса в почве.

При анализе полученных результатов было показано, что в листьях и корнях подсолнечника возрастила активность каталазы и пероксидазы, а также усиливался синтез белка, чем на нефтезагрязненной почве. Длина корневой системы ржи и люцерны при использовании комплекса препаратов увеличивалась на 20 и 25% соответственно. Активность ферментов в органах ржи соответствовала контрольным значениям, а содержание белка в корнях люцерны возрастила на 83%. Таким образом, обработка биопрепаратами оказала положительное влияние на рост растений на всех этапах реализации технологии, что способствует интенсификации процесса фиторемедиации нефтезагрязненной почвы.

INFLUENCE OF BIOLOGICAL PRODUCTS ON PHYTOREMEDIANT PLANTS IN THE IMPLEMENTATION OF PHYTOCONVEYOR TECHNOLOGY FOR CLEANING AND RESTORATION OF OIL-POLLUTED SOIL

Grigoriadi A.S.*¹, Sotnikova Yu.M., Farkhutdinov R.G.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

*E-mail: nysha111@yandex.ru

Keywords: oil pollution, phytoremediation, biological products, phytoconveyor.

ВЛИЯНИЕ АСФАЛЬТЕНОВ НА РАЗВИТИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ *SORGHUM SUDANENSE*

Зыков М.В.*¹, Сальников В.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Казанский институт биохимии и биофизики — обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра “Казанский научный центр Российской академии наук”, Казань, Россия

*E-mail: zykooffmaxim@yandex.com

Ключевые слова: *Sorghum sudanense*, асфальтены, нефтепродукты, токсичность, экзометаболиты.

Тяжелые нефти, в отличии от легких нефтепродуктов, быстро застывают, образуя сгустки, плавающие в толще воды, или оседающие на дно. В процессе циркуляции вод, сгустки оказываются на береговой линии, оказывая воздействие на прибрежную флору и фауну. Одним из главных компонентов тяжелых нефтей являются асфальтены. Практически не деградируемые абиотическими факторами, они оказываются в почве в виде дисперсных частиц размером от 1мкм. В данной работе мы изучали воздействие на развитие корневой системы *Sorghum sudanense*.

Проведенные эксперименты позволили оценить возможность проникновение вышеупомянутых частиц в корни четырехдневного растения; влияние на скорость роста корней; изменение в химическом составе экзометаболитов *Sorghum sudanense* под влиянием асфальтенов в различных условиях. Световая микроскопия позволила зафиксировать наличие асфальтенов на корневых волосках и в экзометаболитах. Так же большое количество исследуемых частиц скапливается вокруг корневого чехлика. Признаков наличия асфальтенов внутри растения с помощью микроскопии и ИК-спектрометрии установлено не было.

Влияние асфальтенов на развитие растения было обнаружено только в присутствии одноклеточных водорослей (сине-зеленых и диатомовых). Так, в условиях наличия асфальтенов ИК-спектрометрия показала кратное увеличение в среде простых углеводородов (преимущественно алканов). Корневая система у растений в этом эксперименте кардинально отличалась от контрольной: главный корень прекращал рост в течении 5–6 дней, после чего начинали формироваться немногочисленные придаточные корни. В отличие от них, у контрольных растений, развивался мощный главный корень и множество мелких придаточных. В эксперименте без асфальтенов, но в присутствии одноклеточных водорослей, главный корень так же прекращал рост на 5 день, при этом придаточные корни формировались на порядок позже и развивались заметно медленнее. Даные расхождения объясняются тем, что для развития придаточных корней необходимо большое количество углерода. Соответственно, асфальтены, которые в обычном состоянии не проникают в растения, частично деградируются одноклеточными водорослями до простых углеводородов, которые в свою очередь служат источником углерода для активного развития придаточных корней *Sorghum sudanense*.

INFLUENCE OF ASPHALTENES ON THE DEVELOPMENT OF THE ROOT SYSTEM OF *SORGHUM SUDANENSE*

Zykov M.V., Salnikov V.V.

Federal State Budgetary Scientific Institution Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics — a separate structural division of the Federal Research Center “Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Kazan, Russia

Keywords: *Sorghum sudanense*, asphaltenes, petroleum products, toxicity, exometabolites.

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ГИПОМАГНИТНЫХ УСЛОВИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ У РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ

Гринберг М.А.^{1,2*}, Ильин Н.В.², Немцова Ю.А.¹, Долинин А.А.², Иванова А.В.¹,
Сарафанов Ф.Г.², Пирогова П.А.¹, Волкова А.В.², Мареев Е.А.², Воденеев В.А.¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород, Россия

² Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова РАН, г. Нижний Новгород, Россия;

*E-mail: mag1355@yandex.ru

Ключевые слова: ионизирующее излучение, магнитные поля, электрические сигналы, активные формы кислорода

В связи с активизацией государственных программ по освоению ближнего и дальнего космоса с участием длительных пилотируемых миссий с новой силой встаёт вопрос о необходимости изучения влияния факторов космического пространства на живые организмы. Одной из актуальных задач является выявление влияния таких факторов космического пространства как повышенный уровень ионизирующего излучения и гипомагнитные условия на растения — предполагаемую основу «космических оранжерей». Есть основания считать, что из всех показателей функционирования живых организмов наибольшей чувствительностью обладают сигнальные системы, отвечающие за восприятие, обработку и усиление входящих стимулов окружающей среды.

В настоящей работе исследовалось влияние повышенного уровня ионизирующего излучения (⁹⁰Sr-⁹⁰Y источник β излучения, мощность дозы 31,3 мкГр/час) и гипомагнитных условий (компенсация магнитного поля Земли трёхосными катушками Гельмгольца, индукция поля 0–1,5 мкТл) на вызванные дополнительным стимулом электрические сигналы растений у растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Факторы действовали на растения на протяжении 15 дней — всего периода выращивания. Электрические сигналы вызывались дополнительным стимулом — нагревом кончика листа в кювете с водой. Экстраклеточные потенциалы регистрировались при помощи макроэлектродной техники. В ходе работ показано, что повышенный уровень ионизирующего излучения усиливает, а пониженный уровень магнитного поля ослабляет электрические сигналы у растений. Эффект проявляется, прежде всего, в модификации амплитуд и скоростей распространения сигнала, а также порога его генерации. Предположено, что механизмом действия рассматриваемых факторов является влияние на единый компонент стрессовой сигнализации — концентрацию активных форм кислорода. В целом, выявленные эффекты открывают новый путь для изучения механизмов влияния факторов космического пространства на состояние живых организмов.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики, направление № 10 «Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика»

INFLUENCE OF IONIZING RADIATION AND HYPMAGNETIC CONDITIONS ON ELECTRICAL SIGNALS IN WHEAT PLANTS

Grinberg M.A.^{1,2}, Ilyin N.V.², Nemtsova Yu.A.¹, Dolinin A.A.², Ivanova A.V.¹,
Sarafanov F.G.², Pirogova P.A.¹, Volkova A.V.², Mareev E.A.², Vodeneev V.A.¹

¹Nizhny Novgorod State University named after. N. I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia

²Institute of Applied Physics named after. A. V. Gaponova-Grekhova RAS, Nizhny Novgorod, Russia;

Keywords: ionizing radiation, magnetic fields, electrical signals, reactive oxygen species

ВЛИЯНИЕ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ НАНОЧАСТИЦ TiO_2 , Fe_3O_4 , NiO В НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ

Гудков С.А.^{1*}, Карташов А.В.², Фролов Г.А.¹

¹ Университет науки и технологий МИСИС, Москва, Россия

² Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия;

*E-mail: goodcough@mail.ru

Ключевые слова: наночастицы, энергия прорастания, предпосевная обработка, морфология, TiO_2 , Fe_3O_4 , NiO

Современные исследования показывают, что предпосевная обработка семян наночастицами оксидов металлов может оказывать как стимулирующее, так и ингибирующее влияние на прорастание и развитие растений, в зависимости от типа, концентрации и формы наночастиц. Однако механизмы воздействия наночастиц и долгосрочные эффекты их действия на проростки и взрослые растения остаются недостаточно изученными. Большинство данных получено при действии наночастиц в сравнительно высоких концентрациях. В то же время есть доказательства, что наночастицы могут быть эффективны в более низких дозах, если они используются в стабильной форме, например, в форме коллоидных растворов.

В нашем исследовании изучено влияние коллоидных растворов наночастиц TiO_2 , Fe_3O_4 и NiO , полученных двухфазным электродуговым методом, в низких концентрациях (0,35 ppm; 0,035 ppm; 0,0035 ppm; 0,00035 ppm) на морфологические и физиологические параметры проростков ячменя сорта Вакула (*Hordeum vulgare L.*). Сухие семена поверхностью стерилизовали и затем замачивали в соответствующих растворах наночастиц на 12 часов в темноте при постоянной аэрации. Обработанные семена высевали в чашки Петри или в рулоны из фильтровальной бумаги и проращивали на свету в течение 7 и 10 суток соответственно. Наночастицы Fe_3O_4 и NiO в концентрациях 0,035 ppm и 0,0035 ppm соответственно оказали положительное влияние на энергию прорастания на 3–4 сутки, однако их эффект был кратковременным и незначительно отражался на морфологии проростков после 7 суток выращивания. Наиболее устойчивые эффекты на морфологию и физиологию проростков наблюдались при обработке семян наночастицами TiO_2 в концентрации 0,35 ppm, которая приводила к более активному (на 30%) развитию корневой системы, повышенному содержанию в них воды и более интенсивной транспирации листьев проростков. Для всех изученных наночастиц не было обнаружено признаков токсического действия на проростки, что дополнительно подтверждалось анализом пигментов, фенольных соединений (GAE) и антиоксидантов (TEAC). Результаты исследования показали перспективность использования низких доз наночастиц, применяемых в форме устойчивых гидрозолей/коллоидных систем для стимуляции раннего развития растений, а также необходимость дальнейших исследований по их долгосрочному воздействию.

INFLUENCE OF COLLOIDAL SOLUTIONS OF TiO_2 , Fe_3O_4 , NiO NANOPARTICLES IN LOW CONCENTRATIONS ON MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF BARLEY SEEDLINGS

Gudkov S.A.¹, Kartashov A.V.², Frolov G.A.¹

¹National University of Science and Technology MISiS, Moscow, Russian Federation

² K.A. Timiriazev Institute of Plant Physiology RAS, Moscow, Russian Federation

Keywords: nanoparticles, seed vigor, pre-sowing treatment, morphology, TiO_2 , Fe_3O_4 , NiO

ОТВЕТЫ НА ВЫЗОВЫ: РАЗНООБРАЗИЕ ПРОГРАММ ВЕТВЛЕНИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ КАК ИСТОЧНИК НОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СЕЛЕКЦИОННОГО ПРОЦЕССА

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: корневые системы, огурец, ветвление корня, ARF, LBD.

Корневая система растений имеет решающее значение для поглощения воды и питательных веществ и оказывает непосредственное влияние на рост и урожайность. У огурца, культуры, потребляемой во всем мире, молекулярный механизм развития корней остается неясным, и это имеет значение для выведения современных высокоурожайных сортов для использования в устойчивом сельском хозяйстве. Целью данного исследования было определение молекулярно-генетических закономерностей, определяющих характер ветвления и размер корневой системы огурца.

У большинства растений боковые корни возникают выше зоны растяжения, однако существует группа из, как минимум, 11 неродственных семейств (Тыквенные, Гречишные, многие водные растения), для представителей которых характерна инициация примордия боковых корней непосредственно в меристеме родительского корня. Такой тип инициации бокового корня приводит к быстрому ветвлению корневых систем. С применением новейших методов обратной генетики и конфокальной микроскопии выявлены возможные пути формирования генетических модулей, вовлеченных в инициацию бокового корня в ходе эволюции семенных растений, а также их становление у предковых форм, а также роль транскрипционных факторов семейств ARF, GATA, LBD и др. в единой координации инициации митотического цикла при запуске программы формирования примордия бокового корня. Особое внимание будет уделено роли ауксина и его транспортеров (прежде всего, PIN), а также цитокининов, в единой координации ветвления корня тыквенных. Будут критически рассмотрены современные теории возникновения и поддержания постоянной осцилляции клеточного ответа на ауксин в тканях корня.

Нами показана общность гормональных механизмов инициации бокового корня в различных зонах материнского корня. Впервые определены принципиальные различия в молекулярно-генетической регуляции запуска первого деления в перицикле и механизмах определения судьбы клеток основательниц в перицикле и эндодерме у огурца. Показана роль конкретных транскрипционных факторов из семейств GATA и LBD в определении точки инициации бокового корня в меристеме родительского корня. Также выявлены пространственно-временные особенности участия клеток корневого чехлика в регуляции инициации бокового корня.

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания «Структурно-функциональные и молекулярно-генетические основы развития и адаптации высших растений» (№ 124020100138-4).

ANSWERS TO CHALLENGES: DIVERSITY OF ROOT SYSTEM BRANCHING PROGRAMS AS A SOURCE OF NEW DATA FOR THE BREEDING PROCESS

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

V.L. Komarov Botanical Institute, St. Petersburg, Russia

Keywords: root systems, cucumber, root branching, ARF, LBD.

СТЕРИНОВЫЙ СОСТАВ ХВОИ ПЕРВОГО ГОДА В ПЕРИОД АКТИВНОГО РОСТА У НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА PICEA

Дударева Л.В.^{1*}, Семёнова Н.В.¹, Кривенко Д.А.¹, Нохсоров В.В.²

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

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия

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

Ключевые слова: свободные стерины, эфиры стеринов, *Picea*, растущая хвоя

Свободные стерины являются неотъемлемыми компонентами мембран, где они играют важную роль в регуляции их текучести и проницаемости. Участие липидных компонентов, в частности, стеринов, в процессах, происходящих в тканях хвойных в период активного роста хвои изучено слабо. Поэтому целью настоящей работы был сравнительный анализ особенностей стеринового состава активно растущей хвои четырех видов ели в весенне-летний период: *Picea obovata* и *Picea obovata* var. *coerulea* Malyshev (аборигенные виды), *Picea abies*, *Picea pungens* (интродуцированные виды). Анализ стеринового состава проводили методом хромато-масс-спектрометрии.

Образцы были отобраны в весенне-летний (май-начало июня) период в восьми временных точках.

Среди свободных стеринов были обнаружены β -ситостерин, кампестерин, стигмастерин и холестерин. Для всех изучаемых видов доминирующим стерином был β -ситостерин, его содержание составляло 76–98% от суммы свободных стеринов. Максимальное содержание суммарных стеринов для двух сравниваемых групп растений (аборигенных и интродуцированных) было обнаружено на разных этапах наблюдения. Максимум накопления свободных стеринов у интродуцированных елей приходился на период роста клеток растяжением, а у аборигенных елей на период интеркалярного роста. Интересно отметить, что содержание кампестерина — субстрата для биосинтеза С28-брассиностероидов было максимальным для всех видов елей в период интеркалярного роста, а затем плавно снижалось. В тканях всех исследуемых видов были обнаружены эфиры Δ -стерины: β -ситостерина, кампестерина, стигмастерина, причем мажорными были β -ситостерин и кампестерин. При этом для интродуцированных видов содержание эфиров стеринов было выше, чем для аборигенных.

Временная динамика изменений стеринового состава и фаз активного роста хвои интродуцированных видов заметно отличалась от таковой для аборигенных, что вероятно, связано с задержкой у них формирования хвои, вызванной адаптацией интродуцированных видов к необычным условиям произрастания.

STEROL COMPOSITION OF FIRST-YEAR NEEDLES DURING THE PERIOD OF ACTIVE GROWTH IN SOME SPECIES OF THE GENUS PICEA

Dudareva L.V.¹, Semenova N.V.¹, Krivenko D.A.¹, Nokhsorov V.V.²

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

² Institute for Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: free sterols, sterol esters, *Picea*, growing needles

РОЛЬ ЭКСПАНСИНОВ В АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К АБИОТИЧЕСКОМУ СТРЕССУ

Кулев Б.Р.*[,] Бережнева З.А., Мусин Х.Г., Заикина Е.А.

Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия

*E-mail: kuluev@bk.ru

Ключевые слова: рост клеток растяжением, клеточная стенка, табак, трансгенные растения

Экспансины — неферментативные белки, вызывающие обратимое разрушение водородных связей между микрофибрillами целлюлозы и связующими гликанами, что приводит к ослаблению клеточных стенок и их последующему растяжению у растущих клеток. Экспрессия экспансиных связана с развитием запрограммированного ответа на абиотические стрессовые факторы, причем чаще всего при действии стрессоров наблюдается повышение содержания мРНК экспансиных. В ряде работ показана защитная роль экспансиных при действии таких стрессовых факторов как засуха, жара, холод, засоление, тяжелые металлы и др. В рамках изучения роли экспансиных в регуляции роста растений, нами ранее были получены трансгенные растения табака с конститутивной экспрессией генов *AtEXPA10* *Arabidopsis thaliana*, *PnEXPA1* и *PnEXPA3* *Populus nigra*. Нами также были проведены исследования генов экспансиных *NtEXPA1*, *NtEXPA4* и *NtEXPA5* табака. Был определен профиль экспрессии этих генов в различных органах табака в зависимости от возраста, при действии NaCl, засухи, гипотермии и при экзогенной обработке фитогормонами. Было показано, что в условиях выращивания табака на гидропонике при действии NaCl в течение 2 часов в концентрации от 0,1% до 1,5% повышается уровень содержания транскриптов генов *NtEXPA1*, *NtEXPA4* и *NtEXPA5*. На трансгенных растениях табака была показана вовлеченность экспансиных в обеспечение роста при дефиците влаги путем поддержания клеточного растяжения в корнях и стеблях на высоком уровне и повышения способности эффективно сохранять влагу в листьях за счет влияния на плотность расположения устьиц и размеры устьичной щели. В целом конститутивная экспрессия генов экспансиных способствовала увеличению устойчивости растений к абиотическим стресс-факторам. Полученные данные могут быть использованы при создании хозяйствственно-ценных трансгенных растений с улучшенными параметрами роста при действии гипотермии, засухи и засоления. Аллергенные варианты генов экспансиных ассоциированные с устойчивостью к абиотическому стрессу могут быть использованы в качестве ДНК-маркеров в маркер-ориентированной селекции.

THE ROLE OF EXPANSINS IN PLANT ADAPTATION TO ABIOTIC STRESS

Kuluev B.R., Berezhneva Z.A., Musin H.G., Zaikina E.A.

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Keywords: cell growth by extension, cell wall, tobacco, transgenic plants

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СУБСТРАТА И ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АССОЦИАЦИИ НА ТАКСОНОМИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ МИКРОБИОМА ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО

Еговцева А.Ю.*, Каменева И.А., Якубовская А.И., Абдурашитов С.Ф., Гритчин М.В., Смирнова И.И.

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь, Россия

*E-mail: eau82@mail.ru

Ключевые слова: микробиом, таксономическая структура, целлюлозолитическая ассоциация, сидераты, солома

В последнее время активно ведется поиск эффективных способов биологизации агротехнологий. Одним из перспективных направлений, является использование растительных остатков и микробных препаратов для ускорения их разложения. Исследование направлено на изучение таксономической структуры микробиома чернозема южного при применении растительных субстратов фацелии, соломы пшеницы и целлюлозолитической ассоциации (ЦА). Схема полевого опыта включала варианты с внесением растительной массы, обработанной ЦА, и без обработки, контроль — черный пар. Обрабатывали водной суспензией ЦА (1 л на гектар) растительной массы с одновременным ее измельчением. Таксономический анализ почвенных образцов проводили методом высокопроизводительного секвенирования библиотек гена 16S рРНК на платформе «Illumina MiSeq» на базе Центра коллективного пользования научным оборудованием «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ «ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии».

Таксономический анализ на уровне родов показал изменения в микробиоме чернозема южного как при внесении растительных субстратов, так и ЦА. Род *Streptomyces*, являющийся продуцентом антибиотических веществ и внеклеточных ферментов, реагировал на совместное внесение соломы и ЦА увеличением доли в 1,5 раза и более существенным при заделке фацелии — в 2,4 раза, а с ЦА — в 3,4 раза. Доля представителей рода *Niastella*, принимающие активное участие в азотном обмене, увеличивалась в 5,9 раз при внесении соломы, при ее инокуляции ЦА в 2,2 раза, в варианте фацелии в 3,0, при совместном применении сидерата и ЦА в 5,8 раза.

Таким образом результаты исследования свидетельствуют о способности такого технологического приема как внесение растительных субстратов и применение ЦА для активизации разложения, оказывать влияние на изменение таксономической структуры прокариотного сообщества чернозема южного.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации № FNZW-2022-0004 «Закономерности функционирования агрофитоценозов чернозема южного под влиянием различных систем земледелия и приемов биологизации, направленных на улучшение плодородия почвы».

THE INFLUENCE OF PLANT SUBSTRATE AND CELLULOLYTIC ASSOCIATION ON THE TAXONOMIC STRUCTURE OF THE MICROBIOME OF SOUTHERN CHERNOZEM

Egovtseva A.Yu., Kameneva I.A., Yakubovskaya A.I., Abdurashytov S.F., Gritchin M.V., Smirnova I.I.

FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”, Simferopol, Russia

Key words: microbiome, taxonomic structure, cellulolytic association, green manure, straw

ХИТИНАЗА-ПОДОБНЫЕ БЕЛКИ В КОРНЯХ ГОРОХА

Егорова А.М.^{1*}, Шаймуллина Г.Х.²

¹ Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия;

² ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет, Центр агроэкологических исследований, Казань, Россия;

*e-mail: egorova@kibb.knc.ru

Ключевые слова: хитиназа-подобные белки, патогенные грибы, *Pisum sativum*

В растениях, хитиназы являются одним из механизмов их защиты от хитин-содержащих микроорганизмов и содержание этих белков повышается при инфицировании патогенами. Наряду с активными хитиназами, в растениях содержатся неактивные — так называемые, хитиназа-подобные белки, структурно схожие с активными хитиназами, но утратившими способность связывать или расщеплять хитин вследствие аминокислотных замен в важных для проявления активности хитин-связывающем или катализитическом доменах.

В корнях гороха была показана индукция хитиназа-подобных белков под влиянием одного из ключевых факторов фитоиммунитета — салициловой кислоты (СК). Экспрессия генов Psat1g147600, Psat1g147560, Psat1g149120 и Psat1g148600, кодирующих хитиназа-подобные белки активировалась уже в первые часы действия СК, что сопровождалось повышением содержания соответствующих белков. Анализ хитиназной активности показал, что салицилат-индуцируемые хитиназа-подобные белки не способны расщеплять водорастворимый субстрат — гликоль хитин, но несмотря на это, оказывали влияние на рост некоторых патогенных грибов, вызывающих болезни корней растений. Анализ влияния хитиназа-подобных белков на рост патогенных грибов *Fusarium oxysporum* и *Fusarium solani* показал, что через 48 ч. они затормаживали рост *F. solani* на 30% по сравнению с контролем. Кроме того, происходило изменение морфологии грибов — укорочение длины гиф, расстояния между септами, уменьшалось ветвление мицелия. У исследованных грибов происходила задержка образования спор в присутствии хитиназа-подобных белков. Полученные данные позволяют предположить, что несмотря на отсутствие непосредственной способности разрушать хитин, хитиназа-подобные белки корней гороха могут участвовать в реализации защитного ответа при инфицировании патогенными грибами. Это может быть связано с их способностью связываться с хитином, которая, как мы показали, у этих белков сохранилась. Следует отметить, что по сравнению с активными хитиназами, именно неактивные хитиназа-подобные белки наиболее значительно индуцировались в корнях гороха под влиянием СК, что указывает на их роль в защитном ответе растений, что подтверждается влиянием на рост патогенных грибов.

Исследование выполнено при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан и РНФ по проекту №24-26-20123

CHITINASE-LIKE PROTEINS IN PEA ROOTS

Egorova A.M.¹, Shaimullina G.Kh.²

¹Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia;

²Kazan State Agrarian University, Center for Agroecological Research, Kazan, Russia;

Keywords: chitinase-like proteins, pathogenic fungi, *Pisum sativum*

ВЛИЯНИЕ ФИТОГОРМОНОВ И ГИПОКСИИ НА СОДЕРЖАНИЕ И ПУТИ МЕТАБОЛИЗАЦИИ ГАМК В РАСТЕНИЯХ *PISUM SATIVUM L.*

Ершова А.Н.

Воронежский государственный педагогический университет, Воронеж, Россия

*E-mail: profershova@mail.ru

Ключевые слова: ГАМК, гипоксия, фитогормоны, гликозид, сорта гороха

Известно, что непротеиногенная аминокислота ГАМК играет не только важную метаболическую и сигнальную роль в растениях, но и повышает их стрессоустойчивость, стабилизирующую pH и скорость свободно-радикальных процессов. Основной путь метаболизации ГАМК в растениях связан с работой ГАМК-шунта. Для проростков гороха было показано, что в условиях кратковременной гипоксии (3–6 час) содержание ГАМК возрастало почти в 2 раза, а при действии диоксида углерода повышалось до $8,12 \pm 0,21$ мкмоль г⁻¹ сыр веса. При этом не происходило увеличение активности фермента ГДК, но отмечалось торможение утилизации ГАМК через реакции цикла Кребса. Обнаружено повышение содержания ГАМК при обработке проростков фитогормонами кинетином и 24-эпифбрассинолидом (24-ЭБ) на 15–30%. Это позволяет предположить, что фитогормоны могут влиять на стрессоустойчивость растений и за счет повышения уровня эндогенной ГАМК. Для растений гороха ранее нами был обнаружен необычный, свойственный только этому представителю бобовых, путь метаболизма ГАМК, связанный с циклизацией ее углеродного скелета с образованием 5-окси-2-пирролидона, который гликозидировался до арил-О-β-D-глюкопиранозида (ИС-гликозида). Наличие циклических производных ГАМК в виде 2-пирролидона ранее отмечалось и у других растений. В условиях гипоксии подавлялся этот путь утилизации ГАМК, но он активизировался в пост-анаэробный период, при этом содержание агликона повышалось до $2,51 \pm 0,11$ мг г⁻¹ сыр веса. На скорость этого пути метаболизации ГАМК влияли кинетин и 24-ЭБ, которые повышали содержание гликозида в проростках гороха на 10% и 30%. Была изучена сортовая специфичность растений гороха по содержанию ГАМК. Показано, что в 14-и сортах гороха содержание ГАМК варьировало от $1,38 \pm 0,06$ до $4,25 \pm 0,01$ мкмоль г⁻¹ сырого веса, что можно использовать в селекции и при подборе сортов для питания с повышенным содержанием в проростках данной аминокислоты, подавляющей возбудимость нейронов.

Проведенные исследования показали значительное колебание уровня ГАМК в разных сортах гороха, а также влияние фитогормонов и кратковременной гипоксии на пути ее метаболизации. Отмечен и необычный путь метаболизма ГАМК, связанный с образованием агликона специфического арил-О-β-D-глюкопиранозида, что расширяет наше представление о роли этой аминокислоты в растениях.

INFLUENCE OF PHYTOHORMONES AND HYPOXIA ON THE CONTENT AND METABOLIZATION ROUTES OF GABA IN *PISUM SATIVUM L.* PLANTS

Ershova A.N.

Voronezh State Pedagogical University, Voronezh, Russia

Keywords: GABA, hypoxia, phytohormones, glycoside, pea varieties

РЕГУЛЯЦИЯ ЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ РАПСА БРАССИНОСТЕРОИДАМИ ПРИ ХЛОРИДНОМ ЗАСОЛЕНИИ

Ефимова М.В.^{1*}, Коломейчук Л.В.¹, Данилова Е.Д.¹, Литвиновская Р.П.²,
Жабинский В.Н.², Хрипач В.А.², Кузнецов Вл.В.^{3,1}

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

²Институт биоорганической химии НАН Беларусь, Минск, Беларусь

³Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, Россия

*E-mail: stevmv555@gmail.com

Ключевые слова: засоление, лактон- и кетонсодержащие брассиностероиды, рапс

Повышенное содержание солей в почве приводит к нарушению клеточного метаболизма, баланса эндогенных регуляторов, основных физиологических процессов и, в конечном итоге, к снижению продуктивности растений и их пищевой ценности. Ключевая роль в регуляции онтогенеза и адаптации растений к неблагоприятным условиям принадлежит фитогормонам. Брассиностероиды (БС) обладают стресс-протекторными и адаптогенными свойствами, повышающими устойчивость растений ко многим повреждающим воздействиям. Способность индуцировать состояние прайминга, повышающего устойчивость растений к отсроченному действию повреждающего фактора в результате кратковременной гормональной обработки растений остаётся малоизученной. Практически отсутствуют сравнительные данные биологического действия лактон- и кетонсодержащих БС на растения в условиях стресса. Целью данного исследования была сравнительная оценка эффективности применения фитостероидов, отличающихся по химической структуре, индуцировать состояние прайминга у растений рапса.

Исследовали способность лактон- (28-гомобрассинолида, ГБЛ) и кетонсодержащих (28-гомокастастерона, ГКС) БС индуцировать у растений рапса (*Brassica napus L.*) состояние прайминга, повышающего устойчивость к «отсроченному» солевому стрессу (90 мМ NaCl). После 4 ч обработки проросших семян рапса ГБЛ или ГКС (0,1 или 10 нМ), проростки переносили на гидропонной установке на среде Хогланда-Снайдера с добавлением или отсутствием NaCl. Через 2 недели оценивали ростовые и фотосинтетические показатели; надземную часть растительного материала фиксировали в жидким азоте для последующей оценки физиологических показателей.

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в основе защитного действия лактон- и кетонсодержащих БС в заданных условиях, очевидно, лежит их способность еще до стресса формировать клеточную антиоксидантную систему и воздействовать на систему транспорта неорганических ионов таким образом, что она обеспечивает активное поступление несовместимых осмолитов при солевом стрессе, следствием чего является понижение клеточного осмотического потенциала и повышение эффективности поглощения воды. При этом специфика повышения активности антиоксидантных ферментов зависит от химической структуры гормона и его концентрации.

Исследование поддержано Российским научным фондом (РНФ, проект № 23-44-10019).

REGULATION OF RAPE PROTECTION SYSTEMS BY BRASSINOSTEROIDS UNDER CHLORIDE SALINITY

Efimova M.V.¹, Kolomeychuk L.V.¹, Danilova E.D.¹, Litvinovskaya R.P.², Zhabinsky V.N.², Khripach V.A.², Kuznetsov V.I.V.^{3,1}

¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

²Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

³Timiryazev Institute of Plant Physiology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: salinity, lactone- and ketone-containing brassinosteroids, rapeseed

НОВЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ИНДЕКС ОТРАЖЕНИЯ, ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ К ВЕЛИЧИНЕ НЕЦИКЛИЧЕСКОГО ПОТОКА ЭЛЕКТРОНОВ В УСЛОВИЯХ СВЕТОВОГО, ВОДНОГО И ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА У ГОРОХА

Золин Ю.А.*¹, Юдина Л.М., Попова А.Ю., Абашева К.Р., Гребнева К.В., Сухова Е.М., Сухов В.С.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
E-mail: uchebnayap.zolin@gmail.com

Ключевые слова: индексы отражения, RI(685,616,780-792), нециклический поток электронов, гиперспектральный имиджинг, стресс

Индексы отражения, которые обычно представляют собой безразмерные коэффициенты и рассчитываются на основании отражения света на двух или трех длинах волн, являются эффективным инструментом мониторинга состояния растений. На основе анализа ранее разработанной математической модели, учитывающей оптические характеристики листа и фотосинтетические процессы, был предложен новый индекс отражения RI (685,616,780-792), потенциально чувствительный к параметрам фотосинтеза в условиях действия неблагоприятных факторов. Далее была проведена экспериментальная проверка возможности использования RI (685,616,780-792) для оценки нециклического потока электронов (LEF) у растения (на примере гороха, *Pisum sativum L.*) в условиях светового, водного и температурного стресса. Спектры отраженного света были измерены с использованием PolyPen RP 410 UVIS system (Photon Systems Instruments, Чехия); LEF был рассчитан на основании эффективного квантового выхода фотосистемы II, измеренного PAM-методом с использованием порометра-флуориметра Li-600 (LI-COR Environmental, США). Было показано, что увеличение интенсивности освещения приводило к возрастанию LEF и сдвигу RI (685,616,780-792) в отрицательную область; между показателями наблюдалась сильная линейная связь ($R^2=0.80$). Индуцированная прекращением полива двухнедельная почвенная засуха и кратковременное действие высокой температуры (50°C, 30 мин) приводили к снижению LEF и сдвигу RI (685,616,780-792) в положительную область. В случае засухи, изменения RI (685,616,780-792) начинались раньше изменений LEF; при этом, между показателями наблюдалась сильная линейная связь ($R^2=0.92$). Полученные результаты показывают, что предложенный новый индекс отражения RI (685,616,780-792) является чувствительным к изменениям фотосинтеза растения (LEF) в условиях светового, водного и температурного стресса и, потенциально, может быть использован для дистанционного и проксимального мониторинга величины LEF при действии неблагоприятных факторов на растения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 23-14-00127).

A NEW COMBINED REFLECTION INDEX SENSITIVE TO THE NON-CYCLIC ELECTRON FLUX MAGNIFICANCE UNDER LIGHT, WATER AND TEMPERATURE STRESS IN PEAS

Zolin Yu.A., Yudina L.M., Popova A.Yu., Abasheva K.R., Grebneva K.V., Sukhova E.M., Sukhov V.S.

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Keywords: reflectance indices, RI(685,616,780-792), non-cyclic electron flux, hyperspectral imaging, stress

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ И УГЛЕРОДНЫЙ БАЛАНС ЛИСТЬЕВ СОРНЫХ РАСТЕНИЙ КАК ИНДИКАТОРЫ ВРЕДОНОСНОСТИ В АГРОЦЕНОЗАХ

Иванова Л.А.^{1,2*}, Хапугин А.А.¹, Иванов Л.А.^{1,2}

¹ Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

² Ботанический сад УрО РАН, Екатеринбург, Россия

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

Ключевые слова: синдром сорного растения, мезоструктура листа, фотосинтез, адаптация к климату, углеродный баланс

Сорные растения агроценозов обладают специфическими функциональными свойствами, обеспечивающими их устойчивость и конкурентоспособность в сложных условиях пахотного земледелия. Сорняки отличаются от несорных травянистых растений высокой семенной продуктивностью, эффективным распространением семян, активным вегетативным размножением многолетних форм. Ключевым фактором конкурентоспособности сорняков является быстрое формирование листового полога, что требует высокой эффективности работы фотосинтетического аппарата. Мы исследовали мезоструктуру листьев и нетто-фотосинтез у 14 видов сорных растений, распространенных в подтаежной подзоне Западной Сибири. Среди изученных видов были как многолетние, так и однолетние виды, характеризующиеся разной встречаемостью на рудеральных (пустыри, обочины дорог) участках и пашнях.

Растения, чаще встречающиеся в рудеральных местообитаниях, чем в посевах, имели тонкие листья (150–170 мкм) и мелкие размеры клеток мезофилла (4–8 тыс. мкм³), среднюю фотосинтетическую способность (7–8 мкмоль м⁻² с⁻¹), и не отличались по этим параметрам от типичных травянистых луговых мезофитов этого же климатического района. В отличие от них злостные сорняки пахотных полей характеризовались более толстыми листьями (>200 мкм), крупными клетками мезофилла (>10 тыс. мкм³), высоким индексом общей поверхности мезофилла по отношению к площади листа (15–20), повышенной долей участия губчатого мезофилла в ассимиляционном потенциале листа и еще рядом особенностей трехмерных (3D) параметров мезофилла, определяющих у них высокий уровень поглощения CO₂ (12–18 мкмоль м⁻² с⁻¹). При этом, содержание хлорофиллов в единице площади листа и в одном хлоропласте, а также количество и размеры хлоропластов в единице площади листа не имели значения для разделения групп сорных растений. Сделан вывод о возможности использования функциональных признаков листа на уровне 3D-структур клеток и мезофилла для идентификации и прогнозирования вредоносности сорных растений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-26-00238, [https://rscf.ru/project/25-26-00238/».](https://rscf.ru/project/25-26-00238/)

FUNCTIONAL TRAITS AND CARBON BALANCE OF WEED LEAVES AS INDICATORS OF HARMFULNESS IN AGROCENOSIS

Ivanova L.A.^{1,2}, Khaugin A.A.¹, Ivanov L.A.^{1,2}

¹ Tyumen State University, Tyumen, Russia

² Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Keywords: weed syndrome, leaf mesostructure, photosynthesis, climate adaptation, carbon balance

КАТАЛАЗНАЯ И ПЕРОКСИДАЗНАЯ АКТИВНОСТИ ДИКОЙ И КУЛЬТУРНОЙ СОИ В ОНТОГЕНЕЗЕ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ СУЛЬФАТОМ КАДМИЯ

Иваченко Л.Е.*¹, Лаврентьева С.И.

Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск, Россия

*E-mail: ivachenko-rog@yandex.ru

Ключевые слова: *Glycine max*, *Glycine soja*, каталаза, пероксидаза, сульфат кадмия.

Соя — важнейшая сельскохозяйственная культура в мире. Амурская область — северный ареал дикой сои, обладающая высоким адаптивным потенциалом. Наибольшую актуальность среди абиотических стресс-факторов в настоящее время приобретает токсическое действие кадмия на растения, которое для сои изучено недостаточно, особенно на антиоксидантные ферменты.

Цель исследования — изучить роль каталазы и пероксидазы в формировании адаптивного потенциала культурной и дикой сои к действию соли кадмия на разных этапах вегетации.

Материалом исследования служили сорт сои Соната и дикорастущая форма КА-1344, полученные из ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт сои». Выращивание сои осуществляли на почве с полей с. Садовое Тамбовского района в тепличных условиях. Интоксикация сульфатом кадмия проводилась в концентрациях 2ОДК и в 10 раз превышающей содержание соли в почве. Контролем являлись образцы, выращенные на почве без внесения соли. Белок определяли методом Лоури, пероксидазную активность — по Бояркину, каталазную — газометрическим. Удельную активность фермента рассчитывали в единицах на мг белка. Электрофоретические спектры пероксидазы и каталазы выявляли методом электрофореза в 7,5%-ном ПААГ.

Анализ удельной активности ферментов позволил выявить обратную зависимость между пероксидазой и каталазой активностями, особенно для культурной сои. В онтогенезе (проростки — первый тройчатый лист — цветение) культурной сои наблюдалось повышение пероксидазной и снижение каталазной активности. Внесение сульфата кадмия в концентрации 2ОДК вызвало повышение удельной активности пероксидазы на стадии цветения дикой сои и каталазной на стадии проростки культурной сои. Концентрация сульфата кадмия, в 10 раз превышающее содержание металла в почве, вызвала повышение каталазной активности на стадии проростки культурной сои и пероксидазной на стадии цветения. Показано, что множественные формы каталаз отличались разнообразием в зависимости от стадии онтогенеза и концентрации сульфата кадмия.

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлено, что адаптация культурной сои к интоксикации сульфатом кадмия происходит путем изменения удельной активности исследуемых ферментов.

Благодарности: работа выполнена за счет средств внутреннего гранта ФГБОУ ВО БГПУ.

CATALASE AND PEROXIDASE ACTIVITY OF WILD AND CULTIVATED SOYBEANS IN ONTOGENESIS UNDER CONDITIONS OF CADMIUM SULFATE SALINITY

Ivachenko L.E., Lavrent'yeva S.I.

Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveshchensk, Russia

Key words: *Glycine max*, *Glycine soja*, catalase, peroxidase, cadmium sulfate.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Казнина Н.М., Титов А.Ф.

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: многолетние злаки, кадмий, свинец, цинк, устойчивость

В условиях вегетационного опыта изучали устойчивость многолетних злаков (*Agrostis gigantea*, *Bromopsis inermis*, *Elytrigia repens* и *Phleum pratense*), широко распространенных в северных регионах, к высоким концентрациям кадмия, свинца и цинка с целью оценки перспектив их использования в фиторемедиации техногенно загрязненных тяжелыми металлами территорий.

Установлена способность всех изученных видов злаков успешно расти и развиваться при высоких концентрациях металлов (Cd — 40 мг/кг субстрата, Pb — 400 мг/кг субстрата, Zn — 200 мг/кг субстрата), а также сохранять высокий уровень фотосинтеза и стабильность водного режима. При этом некоторые адаптационные механизмы оказались у них сходными, а некоторые различались в зависимости от вида растений и металла. К общим механизмам можно отнести поддержание активного роста побега при торможении роста корня, формирование листовой пластинки практически равной контрольным растениям, увеличение содержания каротиноидов и интенсивности транспирации, сохранение высокой скорости фотосинтеза. Но если у *E. repens* и *B. inermis* высокая скорость фотосинтеза поддерживалась благодаря увеличению диаметра устьичной щели, то у *A. gigantea* и *P. pratense* — вследствие увеличения числа устьиц. Высокая металлоустойчивость злаков обеспечивалась также эффективной работой клеточных механизмов, в частности, увеличением активности антиоксидантных ферментов, а также усиливением синтеза фитохелатинов.

Проведенный химический анализ выявил способность многолетних злаков накапливать значительные количества тяжелых металлов в корнях. При этом в отношении содержания кадмия и цинка явных межвидовых различий не обнаружено, тогда как в содержании свинца они отчетливо проявились: наибольшее количество металла обнаружено у *E. repens*, а наименьшее — у *P. pratense*.

Таким образом, все изученные виды многолетних злаков являются устойчивыми к высоким концентрациям кадмия, свинца и цинка и способны накапливать их в достаточно больших количествах. При этом, наиболее устойчивым видом к кадмию и цинку оказался *E. repens*, а к свинцу — *P. pratense*. Сделан вывод о высоком ремедиационном потенциале указанных многолетних злаков и возможности их использования в фиторемедиации загрязненных тяжелыми металлами почв, в том числе в условиях Севера.

ГЗ КарНЦ РАН (FMEN-2022-0004).

USING PERENNIAL CEREALS FOR REMEDIATION OF HEAVY METAL-CONTAMINATED NORTHERN TERRITORIES

Kaznina N.M., Titov A.F.

Institute of Biology — a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science, Federal Research Center “Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, Petrozavodsk, Russia

Keywords: perennial cereals, cadmium, lead, zinc, resistance

ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ АППАРАТОМ «ТОР» НА РЕПРОДУКТИВНЫЕ ФУНКЦИИ *VICIA FABA L.*

Кайгородова И.М.^{1*}, Козарь Е.Г.¹, Ушаков В.А.¹, Грязнов В.Г.², Галкина Е.А.²,
Романенко Т.М.³, Филиппова А.Б.⁴, Юдин А.А.⁴

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО), Московская область, Россия

²АО «Концерн ГРАНИТ», г. Москва, Россия

³Нарьян-Марский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук — «Нарьян-Марская сельскохозяйственная опытная станция», г. Нарьян-Мар, Россия

⁴Институт Агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

*E-mail: kaigorodova-i@mail.ru

Ключевые слова: бобы овощные, электромагнитное излучение, семена, всхожесть, твердокаменность

Изучены эффекты воздействия резко отличающихся агроклиматических условий Арктики (г. Нарьян-Мар — НМ) и центрально-нечерноземной зоны (Московская область — МО) и обработка посевов электромагнитным излучением Аппарата «ТОР» (ЭМИ-обработка) на репродуктивный потенциал растений бобов овощных и качество полученных семян сорта Велена селекции ФГБНУ ФНЦО.

В условиях короткого лета Арктики продуктивность контрольных растений в два раза была ниже, чем в МО, а масса 1000 семян — ниже на 45%. ЭМИ-обработка посевов в обоих регионах дала положительные результаты, но была эффективнее в условиях МО, где в этот год была отмечена высокая фитопатогенная нагрузка. Так, продуктивность обработанных растений в Московской области превысила контроль на 80%, а в условиях Арктики — на 34%; масса 1000 семян — на 35% и 5%, соответственно.

Отмечено, что в условиях НМ около 7% полученных семян в контроле оказались твердокаменными, причем под влиянием ЭМИ-обработки их доля увеличилась до 10–13%, что привело к снижению всхожести до 90–93%. Не оказывая существенного влияния на итоговую всхожесть, ЭМИ-обработка отразилась на скорости прорастания: в партии семян из НМ показатель энергии прорастания был ниже на 10%, а из МО — на 33%. По-видимому, проявление твердокаменности семян указывает на усиление защитного механизма репродуктивной функции растения.

Основные биометрические параметры 14 суточных проростков соответственно были несколько ниже у более мелких семян из НМ (в среднем на 25%), но в обоих регионах выращивания они были сопоставимы между контролем и опытом. Положительный эффект ЭМИ-обработки отмечен у проростков МО на развитии корневой системы, сырая масса которой в варианте с праймированием была на 26% выше контроля, при сравнимом уровне содержания сухого вещества.

То есть, показана возможность выращивания и получения полноценного семенного поколения овощных бобов в условиях полярного дня Арктики, хотя и уступающего по своим массовым характеристикам по сравнению с НЧЗ РФ. Применение ЭМИ-обработки посевов аппаратом «ТОР» целесообразно в обоих регионах выращивания. Оказывая стимулирующее и иммуномодулирующее действие, она способствует более полной реализации репродуктивного потенциала растений и не оказывает негативных последействий на посевные качества полученного урожая семян, в том числе и в непривычных для культуры условиях выращивания.

INFLUENCE OF AGRO-CLIMATIC CONDITIONS AND OR DEVICE REMOTE TREATMENT ON Vicia faba L. REPRODUCTIVE FUNCTIONS

Kaigorodova I.M.¹, Kozar E.G.¹, Ushakov V.A.¹, Gryaznov V.G.², Galkina E.A.²,
Romanenko T.V.³, Filippova A.B.⁴, Yudin A.A.⁴

¹Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC),
Moscow region, Russia

²JSC «Concern GRANIT», Moscow, Russia

³Naryan-Mar branch Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after
Academician N.P. Laverov Ural Branch of the Russian Academy of Sciences — Naryan-Mar Agricultural
Experimental Station, Naryan-Mar, Russia

⁴A.V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Keywords: vegetable beans, electromagnetic radiation, seeds, germination, stone hardness

ЧТО МОГУТ РАССКАЗАТЬ ПЕПТИДНЫЕ ГОРМОНЫ ОБ АРХИТЕКТУРЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ТЫКВЕННЫХ?

Кирюшкин А.С.*¹, Ильина Е.Л., Демченко К.Н.

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

*akiryushkin@binran.ru

Ключевые слова: корень, Тыквенные, пептидные гормоны, CEP, RALF.

Малые сигнальные пептиды, наряду с ауксином, являются регуляторами инициации и развития бокового корня (БК). Например, у *Arabidopsis* (при развитии БК за зоной растяжения) к таким регуляторам относятся пептиды *AtCEP5* и *AtRALF34*. При этом данные о роли этих пептидов у Тыквенных (при инициации БК в пределах апикальной меристемы корня) отсутствуют.

С помощью филогенетического анализа у огурца были идентифицированы ортолог *AtRALF34*, *CsRALF34*, и шесть пептидов CEP, *CsCEP1-CsCEP6*. Экспрессия *CsRALF34* и *CsCEP3* не регулировалась ауксином. Напротив, остальные гены *CsCEP* были ауксин-чувствительными. Анализ активности промоторов с использованием конфокальной микроскопии показал, что экспрессия генов *CsRALF34*, *CsCEP5* и *CsCEP6*, наблюдалась в примордиях БК на всех стадиях их развития, начиная от инициации. Слабая экспрессия гена *CsCEP4* наблюдалась на поздних стадиях развития БК. Экспрессия *CsCEP1* и *CsCEP2* не ассоциирована с примордиями БК. Анализ распределения синтеза пептида *CsRALF34* показал его транспорт за пределы области с ранними этапами развития примордияев БК. Обработка корней огурца синтетическим пептидом *CsRALF34*, а также сверхэкспрессия гена *CsRALF34* не влияли на изменение количества закладывающихся примордияев БК. Однако, экзогенный пептид снижал скорость роста родительского корня, а сверхэкспрессия подавляла продукцию активных форм кислорода с одновременной активацией ряда клеточных антиоксидантных систем.

Полученные данные показали отсутствие накопления пептида *CsRALF34* в зоне инициации БК и его роль в контроле пролиферации клеток коры в базальной части апикальной меристемы корня. В результате анализа протеомных данных получен ответ о роли сигнального пептида RALF34 у Тыквенных (огурец) — запуск стрессорного ответа и регуляция пролиферации клеток коры в базальной части меристемы. В случае генов *CsCEP* было показано, что только экспрессия *CsCEP5* и *CsCEP6* специфически приурочена к начальным этапам инициации бокового корня.

Работа выполнена в рамках темы Государственного задания «Структурно-функциональные и молекулярно-генетические основы развития и адаптации высших растений» (№ 124020100138–4).

WHAT CAN PEPTIDE HORMONES TELL US ABOUT THE ARCHITECTURE OF THE ROOT SYSTEM OF PUMPKIN?

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

V.L. Komarov Botanical Institute, St. Petersburg, Russia

Keywords: root, Pumpkin, peptide hormones, CEP, RALF.

ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ШТАММОВ *BACILLUS THURINGIENSIS*

Крыжко А.В.

ФГБУН Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, г. Симферополь, Россия

*E-mail: nk_lib@mail.ru

Ключевые слова: *Bacillus thuringiensis*, штамм, целлюлозолитическая активность, энтомопатоген

Исследование механизмов разложения целлюлозы у штаммов *B. thuringiensis* представляют интерес не только в связи с поиском новых перспективных продуцентов целлюлаз для применения в медицине, текстильной промышленности, производстве бумаги и других отраслях народного хозяйства. Наличие целлюлазы играет большую роль в механизме патогенности *B. thuringiensis* для насекомых отряда Coleoptera, перспективно для производства почвенных удобрений и разложения пищевых отходов.

Определение целлюлазной активности проводили методом Pinheiro G. L., Correa R. F. (2015) с визуализацией зоны гидролиза целлюлозного субстрата при помощи красителя конго красного и количественным методом Синицына А. П. Скорость разрушения целлюлозы изменили в лабораторных условиях модифицированным методом Christensen N. L.

(1981). Идентификацию гена целлюлазной активности штаммов *B. thuringiensis* проводили с помощью специфичных праймеров.

В результата исследований был продетектирован ген целлюлазы в штаммах *B. thuringiensis* Крымской коллекции микроорганизмов. Проведенный филогенетический анализ позволил установить, что все исследованные коллекционные штаммы *B. thuringiensis*, с высокой степенью статистической поддержки и постериорной вероятностью равной 92% образуют монофилитическую группу, имеют высокую степень гомологии по гену целлюлазы и принадлежат преимущественно к серотипам *thuringiensis*, *kurstaki* и *dendrolimus*. Описана перспективность штаммов *B. thuringiensis* 685, 792, 800, 926, 942, 989, 072, 0105, 0162, 0307, 0308, 0326, 0371, 0411, 0441, 0452, 0532, 0541, 41H1, 109H10, 12–91, 177, 992 как обладающих выраженными целлюлозолитическими свойствами. Обработка чернозема южного жидкой споровой культурой штаммов *B. thuringiensis* 072, 0105, 0326, способствует увеличению целлюлозолитических свойств чернозема южного до 99,5% к контролю. Максимальная целлюлазная активность, достигающая в среднем 0,25 мкг/мл, оказалась характерной для штаммов *B. thuringiensis*, принадлежащих к серотипу *thuringiensis*, а максимальной целлюлозолитической активностью (до 80% в среднем) обладали штаммы, принадлежащие к серотипам *kurstaki* и *thuringiensis*.

CELLULOSOLITIC ACTIVITY OF STRAINS *BACILLUS THURINGIENSIS*

Kryzhko A.V.

Federal State Budgetary Institution of Science Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

Keywords: *Bacillus thuringiensis*, strain, cellulolytic activity, entomopathogen

МЕЛАТОНИН В УСЛОВИЯХ СВЕТОВОГО СТРЕССА ВЫЗЫВАЕТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНУЮ ЭКСПРЕССИЮ ГОРМОН-РЕГУЛИРУЕМЫХ ГЕНОВ

Кудрякова Н.В.¹, Шагимарданова Е.И.², Бычков И.А.¹, Щелкунов М.И.², Клепикова А.В.³, Байкузина П.Г.², Дорошенко А.С.¹, Шитикова В.В.¹, Кузнецов В.В.^{1*}

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

²ЦКП геномики и биовизуализации Сколковского Института науки и технологий, Москва, Россия

³Институт общей генетики им. Н.И.Вавилова РАН, Москва, Россия

E-mail: vkusnetsov2001@mail.ru

Ключевые слова: *Arabidopsis*, мелатонин, стресс, транскриптом, фитогормоны

Мелатонин (МТ), антиоксидант и регулятор, взаимодействует практически со всеми фитогормонами, однако молекулярные механизмы этих взаимодействий изучены недостаточно. Используя технологию мРНК-секвенирования (mRNA-seq) была проанализирована глобальная регуляция МТ экспрессии генов метаболизма и сигналинга основных фитогормонов, а также генов ответа на их действие в условиях фотоокислительного стресса. При анализе комбинированного воздействия светового стресса и МТ относительно стресс-индуцируемого уровня в числе активируемых обогащенных категорий дифференциально-экспрессируемых генов были идентифицированы гены ответа на ауксин, а среди репрессируемых — гены сигналинга и ответа на абсцисовую кислоту (АБК), т. е. МТ снижал экспрессию индуцированных световым стрессом АБК-регулируемых генов и способствовал повышению экспрессии ряда ауксин-зависимых генов, среди которых преобладали гены семейства SAUR (*SMALL AUXIN UP RNAs*). МТ также подавлял гены сигналинга, метаболизма и ответа на жасмоновую кислоту (ЖК) и гены ответа на салициловую кислоту (СК). Эти два гормона принято ассоциировать с физиологическими ответами на световой стресс. МТ смягчал негативные последствия избыточного освещения, о чем свидетельствовало снижение стресс-индуцированной активации генов ЖК и СК, а также генов АБК. Экспрессия генов ответа на этилен, представленных преимущественно членами семейства стресс индуцируемых транс-факторов ERF/AP2 также подавлялась при действии мелатонина.

Напротив, МТ усиливал снижение экспрессии гена *BR6OX1* биосинтеза брацциностероидов (БС), играющих негативную роль в реакции на световой стресс, иллюстрируя специфичную регуляцию генов фитогормонов. Следует также отметить, что некоторые из МТ-регулируемых генов могли участвовать в ответе на мультигормональные сигналы. Так, например ген *AT2G18300*, наряду с БС, регулировал ответы на цитокинины и гиббереллины, а *AT3G48360* опосредовал реакции на СК, ЖК, АБК и ИУК. Конечный вектор экспрессии таких генов определялся особенностями межгормональных взаимодействий, зависимых от внешних и внутренних стимулов. В целом, МТ способствовал подавлению гормональных путей, активируемых при стрессе, и индуцировал пути, связанные с ростовыми процессами.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-14-00011

MELATONIN UNDER LIGHT STRESS INCURS DIFFERENTIAL EXPRESSION OF HORMONE-REGULATED GENES

Kudryakova N.V.¹, Shagimardanova E.I.², Bychkov I.A.¹, Shchelkunov M.I.², Klepikova A.V.³, Baikuzina P.G.², Doroshenko A.S.¹, Shitikova V.V.¹, Kuznetsov V.V.¹

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

²Center for Genomics and Biovisualization, Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

³Gershtein Institute of General Genetics, Moscow, Russia

N.I. Vavilov Institute of Plant Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Keywords: *Arabidopsis*, melatonin, stress, transcriptome, phytohormones

АНАЛИЗ УЧАСТВУЮЩИХ В МОДИФИКАЦИИ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК ГЕНОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ КЛУБЕНЬКОВ ГОРОХА

Кусакин П.Г.*¹, Цыганова А.В., Цыганов В.Е.

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

*E-mail: pyotr.kusakin@arriam.ru

Ключевые слова: бобово-ризобиальный симбиоз, симбиотический клубенёк, клеточная стенка, симбиотический интерфейс

При развитии симбиотического клубенька происходит формирование общего для микро- и макросимбионтов симбиотического интерфейса — поверхности взаимодействия партнеров. В ходе дифференцировки растительных клеток происходит постоянное изменение состава его компонентов. Поэтому большой интерес представляет изучение онтогенетических изменений симбиотического интерфейса на различных стадиях дифференцировки растительных клеток клубенька. В данной работе на транскриптомном уровне в трёх гистологических зонах клубенька гороха были изучены гены ферментов, участвующих в модификации клеточных стенок, а также кодирующие гидроксипролин- богатые белки.

В референсном геноме гороха был произведён поиск последовательностей, для которых было возможно установить принадлежность к одному из семейств ферментов углеводного метаболизма по классификации базы данных CAZy (Carbohydrate Active enZymes). Кроме того, проводился поиск в геноме генов гидроксипролин-богатых белков клеточной стенки и их классификация по методу MAAB (Motif and Amino Acid Bias). С использованием выделенных при помощи лазерной микродиссекции образцов гистологических зон клубенька гороха (ранняя зона инфекции, поздняя зона инфекции, зона азотфиксации) был проведён транскриптомный анализ и определены гены с меняющейся в зависимости от степени дифференцировки клеток клубенька экспрессией.

Из полученных генов отбирали те, которые были отнесены к какому-либо семейству ферментов углеводного метаболизма по классификации CAZy, а также гены, соответствующие гидроксипролин-богатым белкам. Анализ показал, что среди дифференциально экспрессирующихся генов было выявлено 122, кодирующих ферменты углеводного метаболизма и имеющих внеклеточную локализацию. Это были в основном гликозилгидролазы, пектинэстеразы и полигалактуроназы, причём наибольшее число генов с повышенной экспрессией приходилось на раннюю зону инфекции. Сходная картина наблюдалась и для генов гидроксипролин-богатых белков. Таким образом, основные процессы, связанные с изменением клеточной стенки, происходят на ранних стадиях дифференцировки инфицированных клеток клубенька гороха.

Работа поддержана грантом РНФ 23-16-00090.

ANALYSIS OF GENES INVOLVED IN CELL WALL MODIFICATION IN DIFFERENT ZONES OF PEA NODULES

Kusakin P.G., Tsyanova A.V., Tsyanov V.E.

All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

Keywords: legume-rhizobium symbiosis, symbiotic nodule, cell wall, symbiotic interface

СТРЕССОВЫЙ ОТВЕТ ЛИШАЙНИКОВ К ОБЕЗВОЖИВАНИЮ И РЕГИДРАТАЦИИ: СРАВНЕНИЕ ТРАНСКРИПТОМНЫХ ПРОФИЛЕЙ МИКОБИОНТОВ ЛИШАЙНИКОВ *LOBARIA PULMONARIA* И *XANTHORIA PARIETINA*

Лексин И.Ю.¹, Ефремова Д.А.^{1,2}, Минибаева Ф.В.^{1,2 *}

¹Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

²Казанский Федеральный (Приволжский) Университет, Казань, Россия;

*E-mail: fminibayeva@gmail.com

Ключевые слова: лишайники, транскриптомный анализ, обезвоживание, стресс

Лишайник — симбиотическая ассоциация, обладающая высокой стрессовой устойчивостью. Устойчивость к стрессовым факторам, в т. ч. обезвоживанию, различается для разных видов лишайников. Примером лишайника, чувствительного к стрессам, является *Lobaria pulmonaria*, а лишайник *Xanthoria parietina* обладает большей стрессовой устойчивостью. Для выявления генетических механизмов устойчивости *L. pulmonaria* и *X. parietina* к обезвоживанию и регидратации нами было проведено секвенирование транскриптомов и проанализированы дифференциально экспрессированные гены (ДЭГи).

Потеря 90% воды в талломах вызывает сопоставимые изменения в транскриптомах *L. pulmonaria* (1512) и *X. parietina* (1731), а при регидратации наблюдаются различные изменения в числе ДЭГов — 284 у *X. parietina* и 735 у *L. pulmonaria*. Обезвоживание индуцирует повышение экспрессии генов, кодирующих шапероны, компоненты протеолиза и убиквитинирования, ферменты антиоксидантной защиты. В *X. parietina* ДЭГи антиоксидантной защиты активируются при раннем стрессовом ответе, а в *L. pulmonaria* они активируются при более сильном обезвоживании.

Гены первичного метаболизма индуцируются при обезвоживании в *L. pulmonaria* сильнее, чем в *X. parietina*. Так, в *X. parietina* наблюдается повышение экспрессии генов, вовлечённых в гликолиз, пентозофосфатный путь и метаболизм аминокислот. В *L. pulmonaria*, помимо этих метаболических путей, также наблюдается сверхэкспрессия генов биосинтеза стеринов и глицерофосфолипидов. Повышение экспрессии генов гликолиза и пентозофосфатного пути может быть связано с дефицитом НАДФН, необходимым многим редокс-ферментам. Изменения в экспрессии генов биосинтеза стеринов и глицерофосфолипидов могут быть вызваны необходимостью поддержания целостности мембран.

Таким образом, обезвоживание приводит к глобальным изменениям в транскриптоме обоих лишайников. Более сильные изменения в экспрессии генов метаболических путей, более поздняя индукция генов антиоксидантной защиты и существенно большее число ДЭГов при регидратации свидетельствуют о меньшей устойчивости *L. pulmonaria* к циклам обезвоживания-регидратации.

Благодарность: Работа проводилась в рамках выполнения госзадания ФИЦ КазНЦ РАН и поддержанна грантом РНФ № 23-14-00327.

STRESS RESPONSE OF LICHENS TO DEHYDRATION AND REHYDRATION: COMPARISON OF TRANSCRIPTOME PROFILES OF MYCOBIONTS OF LICHENS LOBARIA PULMONARIA AND XANTHORIA PARIETINA

Leksin I.Yu.¹, Efremova D.A.^{1,2}, Minibaeva F.V.^{1,2}

¹Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

²Kazan Federal (Volga Region) University, Kazan, Russia;

Keywords: lichens, transcriptome analysis, dehydration, stress

ВЛИЯНИЕ АНТИОКСИДАНТА СЕЛЕНА НА СОДЕРЖАНИЕ АУКСИНОВ И ПУТИ ДЫХАТЕЛЬНОГО ОБМЕНА У РАСТЕНИЙ СОИ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

Пузина Т.И.*[,] Легченко У.В.

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, Орёл, Россия

*E-mail: tipuzina@gmail.com

Ключевые слова: селен, ауксины, дыхание, засуха, соя

В настоящее время пристальное внимание уделяют физиологической роли антиоксидантов в растительном организме. Большинство работ посвящено их влиянию на работу антиоксидантной системы. Менее изученным является действие на гормональную систему растений, которая в основном регулирует ход и направленность процессов, в том числе в стрессовых условиях. Остается не изученным гормональный статус растения сои — важного источника растительного белка и его влияния на физиологические процессы в изменяющихся условиях среды. Цель исследования заключалось в изучении влияния антиоксиданта селена на содержание ауксинов и интенсивность процесса дыхания у растений сои в условиях засухи. Объектом исследования служили 30-дневные растения сорта Нерусса, выращенные в лабораторных условиях. Варианты опыта включали: замачивание семян в $5.8 \cdot 10^{-3}$ mM растворе селенита натрия, контрольные — в воде. Засуху создавали путем прекращения полива в течение 5 дней. Содержание ауксина определяли методом биологической пробы с использованием в качестве биотеста отрезков колеоптей пшеницы сорта Московская 39. Интенсивность дыхания измеряли по количеству выделяющегося CO_2 в приборах для газообмена методом титрования. В качестве ингибитора гликозидаз использовали фторид натрия ($3 \cdot 10^{-2}$ M). Результаты исследования показали, что в условиях оптимального водоснабжения селенит в 1.7 раза увеличил содержание ауксина. Засуха вызвала уменьшение количества фитогормона, причем в большей степени в контролльном варианте — в 3.5 раза, против 1.4 раза у растений с селеном. На фоне повышения ИУК при оптимальном водообеспечении интенсифицировался процесс дыхания в листьях в варианте с селеном на 70%. Засуха увеличила интенсивность дыхание в 1.8 раза в контроле, несмотря на снижение ИУК, что является неспецифической реакцией на стресс, тогда как селен в этих условиях напротив уменьшил в 1.3 раза. В результате антиоксидант несколько стабилизировал дыхание. Снижение против контроля составило 20%. Использование NaF — ингибитора гликозидазы выявило смещение соотношения начальных путей дыхания в варианте с селеном в сторону аптомического пути вне зависимости от условий водообеспечения. Обогащение растений селеном стимулировало ростовые реакции побега, а именно рост стебля в высоту (на 24%) и сухую массу листьев (на 25%).

EFFECT OF ANTIOXIDANT SELENIUM ON AUXIN CONTENT AND RESPIRATORY METABOLISM PATHWAYS IN SOYBEAN PLANTS UNDER DROUGHT

Puzina T.I., Legchenko U.V.

I.S. Turgenev Oryol State University, Oryol, Russia

Keywords: selenium, auxins, respiration, drought, soybean

АКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ РАСТЕНИЙ КАРТОФЕЛЯ *IN VITRO* ПРИ ИНФИЦИРОВАНИИ БИО- ИЛИ НЕКРОТРОФАМИ

Ломоватская Л.А., Гончарова А.М.

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия
Lidal@sifibr.irk.ru

Ключевые слова: супероксиддисмутаза, картофель *in vitro*, *Pectobacterium atroseptica*, *Clavibacter michiganensis* ssp. *Sepedonicus*

В работе использовали растения картофеля *in vitro*, контрастные по устойчивости к некротрофному бактериальному патогену *Pectobacterium atroseptica* (*Pca*) и биотрофному патогену *Clavibacter michiganensis* ssp. *Sepedonicus* (*Cms*): сорт Луговской — устойчивый и сорт Лукьяновский — восприимчивый. Высоковирулентные штаммы *Pca* (22) и *Cms* (6889).

Растения длиной 10–11 см инфицировали уколом в нижнюю часть стебля, титр *Pca* или *Cms* 12×10^8 /мл. Далее анализировали активность различных форм супероксиддисмутазы (СОД) в нижней и верхней частях стебля (5 см от верхушки) через 1 мин; 5 мин; 120 мин и 24 часа.

Анализ показал наличие у растений картофеля Cu, Zn-, Fe- и Mn-зависимой форм СОД.

Cu, Zn-СОД ингибиравалась в присутствии KCN, а H_2O_2 ингибиравала Fe-СОД и, частично, Cu, Zn. Исследования показали, что заметные сортовые различия в реакции СОД растений картофеля наблюдались уже через 1 мин после инфицирования.

Через 5 мин у растений с. Луговской (устойчивый к *Pca* и *Cms*) наблюдалось более четко выраженные изменения в активности СОД: сбалансированное изменение как общей активности, так и отдельных ее форм в нижней и верхней частях стебля. Происходило ингибирование примерно на 70% при контакте с *Pca* и, напротив, возрастание активности при инфицировании *Cms* (на 40%). В тоже время у растений с. Лукьяновский наблюдалось повышение активности СОД при инфицировании *Pca* и существенное ингибирование ее активности при контакте с *Cms*, причем в наибольшей степени в верхней части стебля. В последующие минуты и часы наблюдаемые тенденции сохранялись у растений обоих сортов. При этом отдельные формы СОД вносили примерно одинаковый вклад в общий пул активности фермента.

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что СОД имеет стратегическое значение для реализации ранних механизмов устойчивости как против некротрофных, так и биотрофных патогенов растения картофеля. Помимо несомненной важной роли СОД как источника вторичного мессенджера, сигнальной молекулы, H_2O_2 , снижение активности СОД у растений устойчивого сорта Луговской через 5 мин после инфицирования некротрофом препятствует образованию некрозов. В свою очередь у растений восприимчивого сорта генерация повышенных концентраций пероксида водорода из-за сильной активации СОД приводит к некрозу тканей, что будет способствовать распространению патогена по тканям растений. В случае инфицирования биотрофным патогеном *Cms* высокая активность СОД у растений устойчивого сорта и ее ингибирование у восприимчивого задерживают/стимулируют развитие и распространение патогена в растениях картофеля.

Работа выполнена в рамках гос. задания, № проекта в гос. задании -0277-2025-0002; Рег. № НИОКР — 125021902466-4

ACTIVITY OF VARIOUS FORMS OF SUPEROXIDE DISMUTASE IN POTATO PLANTS IN VITRO UPON INFECTION WITH BIO- OR NECROTHOPHS

Lomovatskaya L.A., Goncharova A.M.

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

Keywords: superoxide dismutase, potato in vitro, *Pectobacterium atroseptica*, *Clavibacter michiganensis* ssp. *Sepedonicus*

О РОЛИ ЭНДОГЕННОГО Н-ФЕНИЛ-2-НАФТИЛАМИНА В ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ РАСТЕНИЙ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM L.*)

Макарова Л.Е., Бизиков П.А., Ищенко А.А., Еникеев А.Г.

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия
E-mail: makarova@sifibr.irk.ru

Ключевые слова: *Pisum sativum*, N-фенил-2-нафтиламин, биосинтез, рост, бактерии

В числе вторичных веществ, синтезируемых в клетках растений, известны соединения нафтилового ряда (нафтохионы, филлохионы и др.). N-фенил-2-нафтиламин (N-ФНА), содержащий нафтиловую структуру и обнаруженный у небольшого числа представителей высших растений, не привлекал особого внимания исследователей для определения его роли и изучения его биосинтеза у растений. Это объясняется сведениями об его техногенном происхождении. Длительное время он в больших объемах производится предприятиями химической промышленности, используется в качестве добавок для предотвращения окислительных процессов в производимые промышленностью материалы и в производстве красителей. N-ФНА отнесен к токсичным веществам для живых организмов. В тканях животных и людей при его деградации выявляли канцерогенный 2-нафтиламин. У простейших животных организмов он вызывал нарушения в росте и метаболизме, у водорослей — еще и нарушения в фотосинтезе. Все нарушения, вероятно, обусловлены свойствами N-ФНА высокой липофильностью, способствующей аккумуляции его в мембранах, и антиоксидантной активностью, вероятно, проявляющейся в при передаче световой энергии и электронов в мембранных системах.

Функции N-ФНА у высших растений не исследованы. В тканях растений гороха и в его корневых экссудатах N-ФНА идентифицирован вместе с фталатами. Изучено участие N-ФНА во взаимодействиях с бактериями в ризосфере и с эндофитными бактериями. У исследованных видов бактерий вызываемые N-ФНА негативные эффекты (подавление роста, жизнеспособности) проявлялись неоднозначно, зависели от концентрации, наблюдались различия по характеру деградации N-ФНА по фталатному пути. Самостоятельный биосинтез N-ФНА и фталатов в клетках растений гороха показан данными для каллусов из их эпикотиляй. Под влиянием экзогенного нафтилина у проростков гороха существенное повышение содержания N-ФНА и фталатов показало на его значение в качестве предшественника их биосинтеза, позволило выявить локусы их повышенной аккумуляции и, вероятно, биосинтеза — растущие участки корня и эпикотиль. На фоне повышенного содержания эндогенных N-ФНА и фталатов выявлены изменения в процессах роста и развития, взаимодействия с бактериями, и полученные данные позволяют определить точки их влияния на физиологические процессы у растений гороха.

ON THE ROLE OF ENDOGENOUS N-PHENYL-2-NAPHTHYLAMINE IN PHYSIOLOGICAL PROCESSES OF PEA PLANTS (*PISUM SATIVUM L.*)

Makarova L.E., Bizikov P.A., Ishchenko A.A., Enikeev A.G.

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

Keywords: *Pisum sativum*, N-phenyl-2-naphthylamine, biosynthesis, growth, bacteria

МАРКЕРЫ РАЗВИТИЯ АЭРЕНХИМЫ У HORDEUM VULGARE L. В УСЛОВИЯХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ ГИПОКСИИ

Малыгин М.В., Киселева И.С.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

E-mail: astett8@gmail.com

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, аренхима, активные формы кислорода, пероксидазы

Растениям, как и другим аэробным организмам, для нормального роста и развития необходим молекулярный кислород. Его недостаток при переувлажнении почвы приводит к гипоксии в корнях. Гипоксия, как известно, является серьёзным стрессовым фактором, к которому растения вынуждены приспосабливаться. У культурных злаков, в том числе, у ячменя в ответ на недостаток кислорода образуется лизигенная аренхима, с помощью которой обеспечивается снабжение органов кислородом. Хотя лизигенная аренхима давно изучается, механизмы её образования при продолжительной гипоксии не изучены.

Для определения маркеров развития аренхимы ячмень (*Hordeum vulgare* L.) выращивали в гидропонных условиях в аэрируемых (нормоксия) и неаэрируемых (гипоксия) условиях в течение 28 дней. Отбор корней осуществляли на 8, 18 и 28 дни. В образцах измеряли парциальный объём аренхимы, накопление O₂-[.], количество H₂O₂, интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), активность гвяжоловой, бензидиновой и аскорбат-пероксидазы. На 10 и 25 день измеряли интенсивность дыхания в базальной части корней по количеству выделявшегося CO₂. Аренхима появлялась на 8 день эксперимента только в условиях гипоксии и занимала 11% проективной поверхности коры корня. В этом возрасте в корнях накапливалось в 3 раза больше O₂-[.], что привело к увеличению на 66% H₂O₂. Также в корнях при гипоксии ПОЛ увеличилось на 20%.

Вероятно, на 8 день накопление АФК приводит к активации программной клеточной смерти, в том числе, при повреждении компонентов мембран. На 10 день наблюдали вдвое большую интенсивность дыхания в условиях гипоксии по сравнению с контролем, что связывают с повреждающим действием гипоксии на ткани корня. После 8 дня роста аренхима продолжала увеличиваться и к 28 дню достигала 23%. Интенсивность дыхания на 25 день в корнях при гипоксии была ниже по сравнению с контролем, что может быть связано с меньшим количеством живых клеток и снижением интенсивности энергетических процессов. После 8 дня роста количество АФК в корнях при гипоксии становится равным аэрируемым (O₂- с 18 и H₂O₂ с 28 дня роста), что связано с увеличением активности пероксидаз в условиях гипоксии. Вероятно, АФК участвуют только в запуске клеточной смерти при образовании аренхимы. Таким образом, маркерами развития аренхимы являются активные формы кислорода и пероксидазы.

MARKERS OF AERENCHYMA DEVELOPMENT IN HORDEUM VULGARE L. UNDER CONDITIONS OF LONG-TERM HYPOXIA

Malygin M.V., Kiseleva I.S.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Keywords: *Hordeum vulgare*, aerenchyma, reactive oxygen species, peroxidases

ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА РИЗОСФЕРНОГО МИКРОБИОМА ЭНДЕМИЧНОГО РАСТЕНИЯ ПРИБАЙКАЛЬЯ *HEDYSARUM ZUNDUKII PESCHKOVA*

Маркова Ю.А.^{1*}, Нурминская Ю.В.¹, Васильев И.А.¹, Кривенко Д.А.¹, Хадеева Е.Р.², Галивонджян А.Х.³, Демкина А.О.³, Гилеп К.А.³, Сутормин Д.А.³

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

²Институт географии СО РАН, г. Иркутск, Россия

³Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия

E-mail: juliam06@mail.ru

Ключевые слова: *Hedysarum zundukii*, ризосфера, микробиом, оз. Байкал

Одной из уникальных черт флоры Западного побережья оз. Байкал является обилие эндемичных видов растений семейства Fabaceae Lindl, основная часть которых находится на побережье Малого Моря и на о-ве Ольхон. Так как данная территория характеризуется резко континентальным, сухим и жарким климатом, формирующим опустыненно-степные экосистемы, представляет большой интерес анализ ризосферного микробиома редких видов бобовых в плане поиска бактерий, перспективных для сельского хозяйства, а также изучения их адаптационного потенциала.

В качестве объекта исследования был выбран копеечник зундукский (*Hedysarum zundukii Peschkova*) — многолетнее стержнекорневое травянистое растение. Отбор проб проводили на западном побережье оз. Байкал на мысе Харгантуй (53°23'»10.9'» N, 107°23'»27.8'» E) в июле 2022 г. С помощью стерильных инструментов отбирали по 10 проб почвы и ризосфера. Для выделения ДНК из образцов почвы и ризосфера использовали набор DNeasy PowerSoil Pro Kits (Qiagen, Германия).

Анализ микробиома показал доминирование филумов Acidobacteriota, Actinobacteriota и Pseudomonadota, что характерно для бедных почв с низким содержанием органического углерода [Fierer et al., 2007]. По сравнению с почвой, количество OTU Actinobacteriota, Bacteroidota, Gemmatimonadota, Planctomycetota, Proteobacteria в ризосфере было выше, а количество OTU Acidobacteriota и Chloroflexi в почве и ризосфере было сходным. Такое распределение связано, вероятно, с большим содержанием органического вещества, характерного для ризосферы.

Из ризосферы выделено 90 культур, относящихся к родам *Lysobacter*, *Streptomyces*, *Pantoea*, *Rhizobium*, *Kytococcus*, *Variovorax*, *Rhodococcus* и др. Способность к синтезу ИУК была обнаружена у 19 штаммов, к синтезу сидерофоров — у 3 штаммов, фосфатсолюбилизация выявлена у 14 штаммов.

Один из способных к синтезу сидерофоров штаммов, *Lysobacter* sp. Hz25, характеризовался высокой антагонистической активностью по отношению к таким фитопатогенам картофеля как *Clavibacter sepedonicus* 6889, *Pectobacterium astrosepticum* 2-2, *Pectobacterium astrosepticum* 426. Штамм был не фитотоксичен, нетребователен к условиям культивирования, так как был психро-толерантен и был способен расти на бедной белком среде с ионами NH⁴⁺ или NO³⁻.

Таким образом ризосфера копеечника содержит виды, перспективные для дальнейшего изучения в качестве адаптогенов сельскохозяйственных культур, в частности, способные защищать их от фитопатогенов.

TAXONOMIC STRUCTURE OF THE RHIZOSPHERIC MICROBIOME OF THE ENDEMIC PLANT OF THE BAIKAL REGION *HEDYSARUM ZUNDUKII* PESCHKOVA

Markova Yu.A.¹, Nurminskaya Yu.V.¹, Vasiliev I.A.¹, Krivenko D.A.¹, Khadeeva E.R.², Galivondzhan A.Kh.³, Demkina A.O.³, Gilep K.A.³, Sutormin D.A.³

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

²Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

³Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

Key words: *Hedysarum zundukii*, rhizosphere, microbiome, lake. Baikal

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ МЕТАБОЛИТОВ В ТКАНЯХ *PINUS SYLVESTRIS* НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ КРИОЛИТОЗОНЫ

Михайлов В.В.* Слепцов И.В., Рожина С.М., Кершенгольц Б.М.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: nethrezim@mail.ru

Ключевые слова: сосна обыкновенная, криолитозона, углеводы, полиолы, метаболическая адаптация, сезонная динамика.

Pinus sylvestris L. — вечнозелёное хвойное дерево, широко представленное в таёжных лесах Якутии, где оно занимает 8–9% площади, что свидетельствует о его высокой адаптивности к суровым климатическим условиям. К числу таких факторов относится продолжительная холодная зима, требующая от растения физиологической перестройки в осенний период. В это время метаболизм замедляется, но продолжается, обеспечивая жизнедеятельность в зимний сезон. Показано, что углеводы и полиолы играют важную роль в повышении морозостойкости хвойных. Максимальные концентрации пинитола, сорбита, галактина и мелибиозы зафиксированы в осенне-зимний период, минимальные — летом.

Обнаружены значимые обратные корреляции между среднемесячной температурой на поверхности хвои и содержанием пинитола, сорбита, галактина и мелибиозы.

Статистически значимое снижение концентрации пинитола наблюдалось в июне, сорбита — в мае, а мелибиозы и галактинола — в апреле, что может отражать постепенный выход растения из состояния зимнего метаболического покоя. Концентрации фруктозы, глюкозы и сахарозы не коррелировали с температурой. Однако выявлена обратная зависимость между содержанием фруктозы, глюкозы и сахарозы, что свидетельствует о динамическом равновесии между моносахаридами и их транспортной формой — сахарозой. Пиковые значения сахарозы отмечены в апреле и ноябре. В апреле её накопление, вероятно, связано с началом весенней активации метаболизма под действием солнечной инсоляции, что подтверждается повышением температуры на поверхности хвои до 5–15°C и таянием снежного покрова. В этот период фотосинтетическая активность ещё низка, поэтому сахароза, по-видимому, транспортируется в хвою из запасающих тканей. С декабря по март и с мая по август уровень сахарозы оставался стабильным, что объясняется замедлением метаболизма зимой и балансом между синтезом и транспортом углеводов летом. Таким образом, одним из ключевых механизмов адаптации *P. sylvestris* к короткому вегетационному периоду в криолитозоне, наряду с мобилизацией транспорта и синтеза полиолов, является транспорт сахарозы в хвою из запасающих тканей, обеспечивающий энергетические потребности клеток при низкой фотосинтетической активности осенью и весной.

SEASONAL DYNAMICS OF *PINUS SYLVESTRIS* TISSUE METABOLITES IN NORTHEASTERN PART OF CRYOLITHOZONE

Mikhailov V.V., Sleptsov I.V., Rozhina S.M., Kershengoltz B.M.

Institute for Biological Problems of the Cryolithozone Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Keywords: Scots pine, cryolithozone, polyols, sucrose, metabolic adaptation, temperature stress.

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ НИЗКОДОЗОВОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ У СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО ИЗ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

Немцова Ю.А.¹, Шималина Н.С.², Гринберг М.А.¹

¹ Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород, Российская Федерация

² Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Российская Федерация

*julnemtcova@yandex.ru

Ключевые слова: ионизирующее излучение, малые дозы, трансгенерационные эффекты, электрические сигналы

Растения растут и развиваются в условиях постоянно действующего ионизирующего излучения (ИИ) — естественного радиационного фона, который может быть повышен вследствие естественных и антропогенных причин. Повышенная радиационная нагрузка в зоне произрастания растений может приводить к изменениям во многих процессах, включая электрический сигналинг (ЭС), являющийся первичным звеном в адаптивном ответе на изменяющиеся условия окружающей среды (температура, влажность, механические воздействия). Для понимания механизмов долгосрочного действия ИИ и установления закономерностей функционирования экосистем в условиях повышенного радиационного фона необходимо изучение эффектов ИИ не только непосредственно на облучённых растениях, но и в следующих поколениях. Цель работы: изучение эффектов низкодозового ионизирующего излучения у семенного потомства подорожника большого из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа.

Эксперименты проводились в контролируемых лабораторных условиях на растениях подорожника большого (*Plantago major* L.). Смесь семян была получена в природных популяциях подорожника, произрастающего в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (мощность поглощенной дозы для родительских растений на импактном участке составляла 128 мкГр/ч). В качестве контроля использовались семена, собранные на участке с естественным значением радиационного фона (0,1 мкГр/ч).

В ходе работы была проведена оценка морфометрических параметров, электрических сигналов и изменений активности фотосинтеза в ответ на распространение ЭС. Электрический сигнал индуцировался нагревом кончика листа. Регистрация поверхностных потенциалов производилась в трёх листьях в трёх зонах, при помощи макроэлектродной техники. Регистрация параметров фотосинтеза осуществлялась в нагреваемом листе при помощи РАМ-флуориметра.

Результаты экспериментов демонстрируют увеличение морфометрических показателей (сырой и сухой массы листьев и корней), тенденцию к увеличению амплитуды ЭС, а также усиление вызванных ЭС изменений фотосинтетической активности у потомков облучённых растений. Из всех исследованных показателей в следующем поколении эффекты ИИ наиболее выражены для сигнально-регуляторных систем.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики, направление № 10 «Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика»

STUDY OF THE EFFECTS OF LOW-DOSE IONIZING RADIATION IN SEMINAL PROGENY OF PLANTAGO MAJOR FROM THE EAST URAL RADIOACTIVE TRACE ZONE

Nemtsova Y.A.¹, Shimalina N.S.², Grinberg M.A.¹

¹N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

²Institute of Plant and Animal Ecology (IPAE), Ekaterinburg, Russia

Key words: ionizing radiation, low doses, transgenerational effects, electrical signals

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ СОД И ЕЁ ИЗОФОРМ В ПРОРОСТКАХ ЯЧМЕНЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕМЯН КОНЬЮГАТАМИ ХИТОЗАНА С ОКСИКОРИЧНЫМИ КИСЛОТАМИ

Овчинников И.А.^{1*}, Калацкая Ж.Н.¹, Николайчук В.В.², Гилевская К.С.²

¹Институт экспериментальной ботаники НАН Беларусь, Минск, Беларусь

²Институт химии новых материалов НАН Беларусь, Минск, Беларусь

*E-mail: igor-1606@mail.ru

Ключевые слова: ячмень, хитозан, оксикоричные кислоты, конъюгаты, солевой стресс, СОД

Повреждающее действие активных форм кислорода (АФК) в клетках растений предотвращает специализированная многокомпонентная антиоксидантная защитная система, активность которой определяет устойчивость растений к стрессовым воздействиям. Супероксиддисмутаза (СОД) является важным ферментом антиоксидантной системы (АОС), осуществляющим первый этап защиты организма от АФК. Этот фермент переводит супероксидный радикал в перекись водорода и молекулярный кислород. В высших растениях данный фермент играет главную роль в нейтрализации токсичных супероксидных радикалов.

Цель работы — изучение активности СОД и её изоформ в оптимальных и стрессовых условиях в проростках ячменя, выращенных из обработанных конъюгатами хитозана с оксикоричными (феруловая и кофейная) кислотами семян. Растения ячменя сорт Добры выращивали рулонным методом. Солевой стресс создавали, помещая рулоны с 5-и дневными растениями в 4%-ный раствор NaCl на 24 часа, после чего растения переносили обратно в воду. Биохимические показатели определяли на 6-е (стресс) и 10-е (постстресс) сутки.

Обнаружено увеличение активности СОД в корнях растений из опытных вариантов в условиях стресса, а в постстрессовый период напротив общая активность фермента снизилась. В бесстрессовых условиях выращивания активность СОД возрастала при обработках. В корнях обнаружена только Cu/Zn-СОД (цит) изоформа СОД. Отмечено увеличение активности Cu/Zn-СОД (цит) изоформы СОД в вариантах обработки в условиях стресса, а в постстрессовый период активность Cu/Zn-СОД (цит) изоформы СОД снижалась также как и общая активность СОД в корнях.

Активность СОД в листьях проростков ячменя в вариантах обработки оставалась на уровне стрессового контроля, а в бесстрессовых условиях обработки способствовали снижению активности фермента. В постстрессовый период не выявлено различий в активности СОД. Было обнаружено три изоформы СОД в листьях: Cu/Zn-СОД (цит), Fe-СОД, Cu/Zn-СОД (хлор). Активность изоферментов Cu/Zn-СОД (цит), Cu/Zn-СОД (хлор) оказалось выше в опытных вариантах как в оптимальных, так и в стрессовых условиях выращивания. В постстрессовый период активность всех трех изоформ СОД возрастало в опытных вариантах.

На основании полученных данных можно полагать, что увеличение активности СОД при действии стресса, имеет, вероятно, защитно-адаптационное значение, о чем свидетельствует увеличение активности некоторых изоформ СОД. Увеличение активности фермента свидетельствует об адаптации проростков ячменя к кратковременному солевому воздействию.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта БРФФИ №Б25М-029

Выражаю благодарность лаборатории нанобиотехнологий Института биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь за помощь в предоставлении оборудования необходимого для выполнения данного исследования.

CHANGES IN THE ACTIVITY OF SOD AND ITS ISOFORMS IN BARLEY SPROUTS WHEN SEEDS ARE TREATED WITH CHITOSAN CONJUGATES WITH OXYCINNAMIC ACIDS

Ovchinnikov I.A.¹, Kalatskaya Zh.N.¹, Nikolaychuk V.V.², Gilevskaya K.S.²

¹Institute of Experimental Botany, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²Institute of Chemistry of New Materials, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Keywords: barley, chitosan, oxycinnamic acids, conjugates, salt stress, SOD

СРАВНЕНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ И НЕСПЕЦИФИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛИПИДОВ ПОГРАНИЧНЫХ МЕМБРАН ПРИ РАЗНЫХ ВИДАХ АБИОТИЧЕСКОГО СТРЕССА

Озолина Н.В.*[,] Капустина И.С., Гурина В.В., Спиридонова Е.В., Нурминский В.Н.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия.

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

Ключевые слова: адаптационные механизмы, мембранные липиды, абиотические стрессы, плазмалемма, тонопласт

Способность растений изменять липидный состав мембран играет решающую роль в адаптации к стрессам. Проводили сравнение специфических и неспецифических изменений липидного профиля плазмалеммы и тонопласта после воздействия разных абиотических стрессов (гиперосмотический, гипоосмотический и окислительный). Установлено, что большинство наблюдавшихся при стрессе реакций являлись специфическими, качественно различающимися в зависимости от действующего фактора. К неспецифическим процессам, происходящим в клетках растений, относят однотипные ответные реакции на действие разнородных стрессоров. Изменения в составе мембранных липидов при разных видах стресса в плазмалемме и тонопласте имели свои отличительные особенности. Неспецифические изменения заметно преобладали в плазмалемме по сравнению с тонопластом, особенно среди гликолигицеролипидов и стеринов. Например, при всех видах изучаемых стрессов в плазмалемме однонаправленно изменялось содержание фосфатидилэтаноламинов (↓), фосфатидилглицеринов (↓), моногалактозидацилглицеридов (МГДГ) (↓), дигалактозидацилглицеридов (ДГДГ) (↑), отношение ДГДГ/МГДГ (↑), холестерина (↓), кампестерина (↓), стигмастерина (↓), и β-ситостерина (↑), пентодекановой жирной кислоты (↑) и арахиновой жирной кислоты (↓). В тонопласте количество неспецифических изменений в составе липидов было существенно меньше по сравнению с плазмалеммой. В тонопласте к таким липидам были отнесены только фосфатидная кислота (↓), отношение стигмастерин/β-ситостерина (↑) и лауриновая жирная кислота (↑). Общих неспецифически изменяющихся липидов у плазмалеммы и тонопласта обнаружено не было. Специфически изменяемых липидов было особенно много среди фосфолипидов и жирных кислот, и они преобладали в тонопласте. Единственный специфический показатель, который совпадал в обоих пограничных мембранах — сумма общих стеринов, которая увеличивалась при гипоосмотическом стрессе и уменьшалась при гиперосмотическом и осмотических стрессах. Все остальные липиды менялись при разных стрессах в плазмалемме и тонопласте по-разному, в зависимости от необходимости участия в различных адаптационных механизмах.

COMPARISON OF SPECIFIC AND NON-SPECIFIC VARIATIONS OF PLANT CELL BOUNDARY MEMBRANE LIPIDS UNDER VARIOUS KINDS OF ABIOTIC STRESS

Ozolina N.V.*[,] Kapustina I.S., Gurina V.V., Spiridonova E.V., Nurminsky V.N.

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

Keywords: adaptation mechanisms, membrane lipids, abiotic stress, plasma membrane, tonoplast

ВНУТРИВИДОВАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ТРАНСКРИПТОМНЫХ ОТВЕТОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM L.*) НА НИЗКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ

Осипова С.В.*, Горбенко И.В.

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск, Россия

*E-mail:svetlanaosipova2@mail.ru

Ключевые слова: коэкспрессия генов, генные сети, стратегии адаптации

С целью определения внутривидовой вариабельности в стратегиях адаптации гексаплоидной пшеницы к низким положительным температурам проведён дополнительный анализ транскриптомных данных, опубликованных для сортов Саратовская 29 (С29) и Янецкис Пробат (ЯП) (Konstantinov et al., 2021). С29 и ЯП различаются происхождением. Анализ проводили в среде программирования R для растений, выращенных в климатической камере при оптимальных условиях и при температуре +4 °C в течение шести (6Н) и двадцати четырёх (24Н) часов. Из 137.000 изученных генов коэкспрессия была обнаружена для 519 генов, которые были объединены в 6 модулей. Самые большие различия между сортами в реакциях на низкую температуру были обнаружены в модуле 4 (М4), объединяющем 69 генов. М4 у ЯП активировался при низкой температуре, но у С29 этот модуль активировался значительно сильнее. Гены *TraesCS1D02G310300.1* и *TraesCS1B02G322100.1*, кодирующие ингибиторы цистеиновой протеазы, были хабами М4. Два гена М4 (*TraesCS6A01G071100.1* и *TraesCS6D01G069000.1*), для которых известны около 1000 белок-белковых взаимодействий, кодируют убиквитин-конъюгирующие белки. При холодовой обработке у ЯП повышалась экспрессия обоих генов, у С29 — только одного при 24Н. Хабами М4 были также гены *TraesCS2B02G521700.1* и *TraesCS2A02G493700.1*, кодирующие серингидроксимилил трансферазу. Этот фермент катализирует образование субстратов для биосинтеза пурина, тимидина и метионина. У С29, по сравнению с ЯП, значительно активнее экспрессировался ген М4 *TraesCS6A02G248000.1*, кодирующий S-аденозилметионин трансферазу, что предполагает более активный синтез S-аденозилметионина в клетках. Эти данные указывают на два основных различия между сортами С29 и ЯП в молекулярных механизмах адаптации к низкой температуре: 1) процессы деградации белков у С29 были менее активными; 2) синтез донора метильных групп для образования ключевых метаболитов и метилирования белков у С29 был более активным. Анализ скоррелированной экспрессии генов обнаружил, что у ЯП при 6Н происходила корреляционно связанная активация скелетной структуры ДЭГ, состоящей из 15 узлов с ответвлениями, у С29 — только из шести. В ответ на 24Н у ЯП активировались 18 узлов с ответвлениями, у С29 — только 8. Можно заключить, что сорт ЯП более чувствителен к низкой температуре по сравнению с С29.

Konstantinov DK, Zubairova US, Ermakov AA, Doroshkov AV. 2021. Comparative transcriptome profiling of a resistant vs susceptible bread wheat (*Triticum aestivum L.*) cultivar in response to water deficit and cold stress. PeerJ 9: e11428. DOI 10.7717/peerj. 11428

Благодарности. Работа выполнена при поддержке бюджетного проекта № 0277-2025-0006 (СИФИБР СО РАН) «Изучение механизмов формирования, поддержания и регуляции устойчивого состояния растений: генетические, физиолого-биохимические, эволюционные и экологические аспекты».

**INTRASPECIFIC VARIABILITY OF TRANSCRIPTOME RESPONSES
OF COMMON WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM L.*)
TO LOW TEMPERATURE**

Osipova S.V., Gorbenko I.V.

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

Keywords: gene coexpression, gene networks, adaptation strategies

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОКОМПОЗИТА СЕЛЕНА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА

Панов Д.А., Омельченко А.В.

Институт биохимических технологий, экологии и фармации
ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферополь, Россия
E-mail: panova_sim@mail.ru

Ключевые слова: наноселен, пшеница, альгинат натрия, хитозан

Солеустойчивость растений является одной из важнейших проблем в сельском хозяйстве. Последствия почвенного засоления проявляется в снижении продуктивности растений, в нарушении генетического биоразнообразии и в серьезных экономических потерях. Важная роль в адаптации растений к солевому стрессу принадлежит селену, стимулирующему физиолого-биохимическую активность растений. Биологически доступными и наименее токсичными являются наночастицы селена, полученные методом «зеленой химии», когда в их синтезе участвует природные полисахарида — альгинат натрия и хитозан. Наночастицы селена получали путем восстановления сelenита натрия L-цистеином в присутствии водорастворимого альгинат-хитозанового комплекса при pH 6,0–7,0. В результате восстановления селенит ионов образуется коллоидный раствор наночастиц наноселена красно-оранжевого цвета, устойчивый в течение 3–4 месяцев с размером наночастиц 20–60 нм. Данная работа посвящена изучению, протекторного действия различных концентраций нанокомпозита селена на ростовые показатели пшеницы сортов «Жнея» и «Подолянка» в условиях модулируемого хлоридного засоления. Семена пшеницы замачивали в водных растворах наноселена (5–50 мг/л). Время экспозиции составляло 4 часа, контролем служили семена, замоченные в дистиллированной воде или растворе 100 mM NaCl. Затем семена помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, увлажненную дистиллированной водой или раствором 100 mM NaCl. Проращивание семян осуществляли в термостате при температуре 24°C. Объем выборки составлял 50 семян в трёхкратной повторности. На 7 сутки определяли всхожесть семян, линейные размеры, массу сырого и сухого вещества надземной части и корней. Массу растительного материала определяли гравиметрическим методом после фиксации при 90°C (5 мин.) и высушивания при 60°C до постоянной массы. Максимальный эффект влияния наноселена отмечен при концентрации 20–40 мг/л (по селену). Накопление сухого вещества биомассы корней и надземной части проростков пшеницы по сравнению с контролем (дистиллированная вода) составило 14,9–17,7% и 10,9–15,7%, соответственно. В условиях солевого стресса обработка семян наноселеном снижала угнетение ростовых характеристик проростков по сравнению с контролем (100 mM NaCl), прирост биомассы корней и надземной части составлял 11,9–15,4% и 6,2–11,5%, соответственно.

STUDY OF THE EFFECT OF SELENIUM NANOCOMPOSITE ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF WHEAT SPROUTS UNDER SALT STRESS

Panov D.A., Omelchenko A.V.

Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy, VI.
Vernadsky Kazan Federal University, Simferopol, Russia

Keywords: nanoselenium, wheat, sodium alginate, chitosan

РЕКОМБИНАНТНЫЙ АМАРАНТИН ЛЬНА: МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И АНАЛИЗ ПОСТТРАНСЛЯЦИОННЫХ МОДИФИКАЦИЙ

Петрова Н.В.*, Сырчина Н.Г., Михайлова А.А.

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

*E-mail: npetrova@inbox.ru

Ключевые слова: *Linum usitatissimum*, лектины, рекомбинантный белок, гликозилирование, фосфорилирование

Большое качественное и количественное разнообразие растительных лектинов остается недостаточно изученным в рамках понимания функциональной роли белков с лектиновыми доменами в процессах нормального роста и развития растений. Для функциональной характеристики белка необходимо его накопление в препаративных количествах, для чего применяются методы получения рекомбинантных белков.

В реализации функций белков важную роль играют посттрансляционные модификации, одной из наиболее важных является гликозилирование, которое затрагивает почти половину известных растительных белков. В процессе гликозилирования белки могут быть модифицированы N- или O-связанными гликанами. Присоединение этих углеводных структур необходимо для формирования третичной структуры белка.

Анализ транскриптомных данных тканей стебля льна (Petrova et al., 2021) ранее позволил выявить дифференциальный характер экспрессии генов лектинов и очертировать группы лектинов интереса, экспрессия генов которых специфична для тканей с разным типом клеточных стенок. Удалось отработать метод получения рекомбинантного лектина Lus10016109 из семейства амарантинов, экспрессия гена которого повышена в тканях с первичной клеточной стенкой. Молекулярное моделирование Lus10016109 с использованием ресурса AlphaFold 3 показало, что третичная структура этого белка имеет сходство с моделью третичной структуры белка AAT4, амарантин-подобного белка огурца (*Cucumis sativus* L.) (Dang et al., 2017). Lus10016109, также как и AAT4, в структуре имеют домен аэролизина, что относит их к группе белков, подобных наттерину-4, участвующих в порообразовании.

Методами биоинформатики для Lus10016109 предсказано наличие 4 сайтов N-гликозилирования. Экспериментально его наличие было продемонстрировано с использованием антител двух типов: 1) специфично распознающих α (1,3) фукозу в составе с N-гликанов и 2) специфично распознающих β (1,2) ксилозу в составе N-гликанов. Методами хроматографии были охарактеризованы степень полимеризации и моносахаридный состав модифицирующих белковую молекулу олигосахаридов, что позволило соотнести их с известными структурными типами N-гликанов. С помощью красителя Pro-QTM Diamond показано наличие у Lus10016109 фосфорилирования.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект №24-24-00516.

RECOMBINANT FLAX AMARANTHINE: STRUCTURE MODELING AND ANALYSIS OF POST-TRANSLATIONAL MODIFICATIONS

Petrova N.V., Sychina N.G., Mikhailova A.A.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: *Linum usitatissimum*, lectins, recombinant protein, glycosylation, phosphorylation

NACL-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ГЕНА GLYR В ЗЕЛЕНЫХ ЛИСТЬЯХ КУКУРУЗЫ

Плотникова Е.В., Анохина Г.Б., Епринцев А.Т.

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

E-mail: dowi2009@mail.ru

Ключевые слова: глиоксилатредуктаза, активность, экспрессия, солевой стресс, абиотические стрессы

Глиоксилатредуктаза (ГР, КФ 1.1.1.26) является важным ферментом в метаболизме растений, участвующим в глиоксилатном цикле, фотодыхании и поддержании окислительно-восстановительного баланса. Данный энзим играет существенную роль в адаптации растений к различным абиотическим стрессам, помогая защищать клетки от повреждений, поддерживая метаболизм в неблагоприятных условиях. Глиоксилатредуктаза катализирует обратимую реакцию восстановления глиоксилата до гликолата, используя в качестве кофактора НАД (Ф) Н. Функция и механизм действия глиоксилатредуктазы до сих пор в значительной степени не исследованы, что делает данный фермент перспективным объектом для изучения.

Целью работы было выявить влияние солевого стресса на ферментативную активность глиоксилатредуктазы в растительной клетке, а также установить изменения транскрипционной активности гена *GLYR* в ответ на засоление. Было установлено, что инкубация проростков кукурузы в 150 мМ растворе хлорида натрия приводит к изменению активности глиоксилатредуктазы. Увеличение каталитической активности данного фермента отмечается с третьего часа инкубации растений в солевом растворе, затем незначительно снижается к шестому часу и достигает своего максимума к двадцать четвертому часу эксперимента, превышая контрольные значения в 2,5 раза.

Анализ экспрессии гена *GLYR* при действии солевого стресса показал, что относительный уровень транскриптов данного гена резко возрастает спустя час инкубации проростков в солевом растворе. Через три часа эксперимента количество мРНК заметно снижается, но все еще остается выше контрольных значений. К шестому часу инкубации наблюдается резкое увеличение относительного уровня транскриптов, который достигает своего максимума. Спустя сутки солевого стресса концентрация мРНК гена *GLYR* в образцах снижается, оставаясь все еще выше контроля, где относительный уровень транскриптов остается стабильным на протяжении всего времени эксперимента.

Таким образом, глиоксилатредуктаза, вероятно, играет значительную роль в адаптации растений к солевому стрессу. Наблюданное увеличение относительного уровня транскриптов гена *GLYR* при инкубации проростков в 150 мМ растворе хлорида натрия, обеспечивающее увеличение каталитической активности глиоксилатредуктазы, подчеркивает ее ключевую роль в обеспечении устойчивости растений к неблагоприятным условиям. Полученные данные демонстрируют сложный характер ответа растений на воздействие солевого стресса.

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.

NACL-INDUCED CHANGES IN TRANSCRIPTIONAL ACTIVITY OF THE GLYR GENE IN GREEN CORN LEAVES

Plotnikova E.V., Anokhina G.B., Eprintsev A.T.

Voronezh State University, Voronezh, Russia

Keywords: glyoxylate reductase, activity, expression, salt stress, abiotic stresses

УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ

Пономарев А.Г.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

E-mail: anaponomarev@yandex.ru

Ключевые слова: дегидрины, адаптация деревьев, экстремальные холода

Адаптация растений к экстремальным условиям северных регионов является важной проблемой, что значимо в контексте глобальных климатических изменений. В Сибири и Канаде температура колеблется от рекордных минимумов около -64°C до максимумов $+36^{\circ}\text{C}$, тем самым охватывая перепад температур в 100°C . Многие из растений в этой экстремальной среде зимуют под защитой снега или в почве. В противоположность этому, вечнозеленые виды: сосна (*Pinus*), ель (*Picea*), пихта (*Abies*), наряду с летнезелеными — лиственницей (*Larix*), остаются над снегом и переживают в местах зимовки экстремальный холод, смену светового режима, засуху и сильные ветра. Дегидрины это группа стрессовых белков, которые играют важную роль в адаптации деревьев к суровым климатическим условиям северных регионов, таких как Якутия, Скандинавия и другие boreальные зоны. Эти белки синтезируются растениями в ответ на дегидратацию, холод, засоление и другие абиотические стрессы, помогая стабилизировать клеточные мембранны и защищать макромолекулы при низких температурах и ограниченной доступности воды. Милан Карас и др. (2024) проанализировал 253 последовательности дегидринов от 25 видов древесных растений, включая 32 хвойных (голосеменных, такие как сосна и ель) и 221 цветочных (покрыто-семенных). Сезонные флуктуации дегидринов играют важную роль в адаптации деревьев к изменяющимся условиям. Контуунен-Соппела (2001) описаны изменения уровня дегидринов в иголках сосны обыкновенной в течение года. Были идентифицированы три типа дегидринов: 60 кДа, 56 кДа и 50 кДа (только в почках и коре). Концентрация дегидрина 60 кДа была наивысшей зимой в почках и коре. Эти изменения подчёркивают связь дегидринов с водным балансом и морозостойкостью, что особенно важно для северных деревьев. Ель обыкновенная, распространённая в северных лесах Европы, также была объектом исследований. Корреляция уровня дегидринов с климатическими факторами, такими как осадки, температура и продолжительность дня, указывает на адаптацию ели к изменяющимся условиям северных регионов (Кьельсен и др. 2013). Дегидрины играют ключевую роль в адаптации северных деревьев к экстремальным условиям, особенно в таких регионах, как Якутия, где суровый климат требует особых механизмов выживания.

RESISTANCE OF WOODY PLANTS TO EXTREMELY LOW TEMPERATURES

Ponomarev A.G.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: dehydrins, tree adaptation, extreme cold

ХАРАКТЕРИСТИКА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ПРОРОСТКАХ *HORDEUM VULGARE* ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ *FUSARIUM CULMORUM*. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРАЙМИНГА РАСТЕНИЙ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМОЙ АТМОСФЕРНОГО РАЗРЯДА

Пшибытко Н.Л.^{1*}, Самохина В.В.¹, Мацкевич В.С.¹, Русакович А.А.¹, Прохорчик П.О.¹, Кощиц Т.О.¹, Вачинская А.В.¹, Аксючиц А.В.², Логунов К.Т.², Котов Д.А.², Демидчик В.В.³

¹Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь

³Институт экспериментальной ботаники им В.Ф. Купревича НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*E-mail: pshybytkon@gmail.com

Ключевые слова: патогенез, фотосинтез, *Hordeum vulgare*, *Fusarium oxysporum*, холодная плазма атмосферного разряда

Потенциал для роста производства сельскохозяйственных культур лежит, прежде всего, в усовершенствовании технологии выращивания растений. По данным ФАО 20–40% урожая гибнет в результате заболеваний. Грибы р. *Fusarium* являются одними из наиболее распространенных и вредоносных возбудителей болезней. В представленной работе исследовано состояние фотосинтетического аппарата, как основы продуктивности растений, и детально охарактеризованы первичные фотосинтетические реакции в проростках ячменя при заражении *F. culmorum*. Данный патоген вызывает в проростках корневые гнили, однако уже через 24 ч после инокуляции было отмечено снижение скорости ассимиляции CO₂, падение активности ФС2, подавление нефотохимического тушения флуоресценции хлорофилла за счет его светоиндуцированного компонента. Данные процессы сопровождались подавлением фотоиндуцированного окисления P700, активацией нефотохимической диссипации энергии как на акцепторной, так и на донорной стороне ФС1, снижением светорассеяния в дальней красной области. В то же время, при трахеомикозном увядании подавление линейного и FQR-зависимого циклического потока электронов компенсировалось активацией транспорта электронов, катализируемого НАДН дегидрогеназа-подобным комплексом (NDH). Следует отметить, что модернизации потоков электронов при трахеомикозном увядании предшествовал рост генерации активных форм кислорода (АФК), как в корневой системе, так и в листовой пластинке. Повышение скорости светозависимой генерации АФК сопровождалось уменьшением размера фотоактивного пула пластохинонов и увеличением доли пластохинолов, что могло выступать в качестве регулятора фотосинтетических потоков электронов.

С целью прайминга устойчивости растений протестирована обработка растений холодной плазмой атмосферного разряда, в факеле которой обнаружены гидроксильные радикалы. С использованием метода ЭПР со спиновой ловушкой ДМПО показана генерация АФК в растворах при их обработке холодной плазмой. С использованием флуоресценции дигидроэтидиума показана активация генерации АФК в зоне деления корня, а с помощью окисления тиобензамида лактопероксидазой — активация светозависимой генерации АФК в листьях после обработки растений холодной плазмой, которая снижалась до первоначального значения через сутки после обработки. Отмечены значительные увеличения прироста биомассы проростков и активности фотосинтеза в обработанных плазмой проростках. В случае последующего заражения растений *F. culmorum* признаки трахеомикозного увядания в предварительно обработанных холодной плазмой атмосферного разряда были выражены в меньшей степени.

Работа выполнена в рамках задания «Закономерности воздействия холодной плазмы на процессы клеточной сигнализации у высших растений» ГПНИ «Конвергенция-2025» (№ госрегистрации 20211734).

CHARACTERISTICS OF PHOTOSYNTHETIC REACTIONS IN HORDEUM VULGARE SEEDLINGS UNDER THE INFLUENCE OF FUSARIUM CULMORUM. ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF PLANT PRIMING BY COLD ATMOSPHERIC DISCHARGE PLASMA

Pshibytko N.L.¹, Samokhina V.V.¹, Matskevich V.S.¹, Rusakovich A.A.¹, Prokhorchik P.O.¹,
Koshchits T.O.¹, Vachinskaya A.V.¹, Aksyuchits A.V.², Logunov K.T.², Kotov D.A.², Demidchik V.V.³

¹Belarusian State University, Minsk, Belarus

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

³V.F. Kuprevich NAS of Belarus, Minsk, Belarus

Keywords: pathogenesis, photosynthesis, *Hordeum vulgare*, *Fusarium oxysporum*, cold plasma of atmospheric discharge

АДАПТАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР К ПОТЕПЛЕНИЮ КЛИМАТА В ДОНБАССЕ С УЧЕТОМ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Попытченко Л.М.¹, Косогова Т.М.², Решетняк Н.В.³

¹⁻² Луганский государственный педагогический университет, г. Луганск, РФ

³ Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова, г. Луганск; РФ

*E-mail: popytchenko@mail.ru

Ключевые слова: климат, адаптация, севооборот, продуктивность, биоклиматический потенциал

При производстве продукции растениеводства большое значение имеют учет биоклиматического потенциала территории и оценка степени его использования культурами. Цель исследований — разработка рекомендаций по рациональному использованию биоклиматических ресурсов агроландшафтов ЛНР. Работа выполнена по материалам метеостанций ЛНР, климатическому справочнику. Проведены расчеты части потенциала климата, используемого сельскохозяйственными культурами раннеспелых, среднеспелых и позднеспелых сортов и гибридов, а также рассчитан коэффициент эффективности использования потенциала климата культурами. Установили, в связи с потеплением климата высока вероятность изменения группы спелости культуры при адаптации к новым условиям. Так, подсолнечник среднепоздней группы спелости по районам ЛНР использует 73–79% ресурсов, что достаточно для вызревания культуры. Среднеспелые сорта и гибриды используют 66–72%. Значит около 30% ресурсов климата недоиспользовано. Кукуруза на зерно среднепоздней группы в северных и южных районах ЛНР может не созреть, так как использует 86–89% ресурсов биоклиматического потенциала. Среднепоздние сорта и гибриды можно выращивать только в центральных районах ЛНР. Подобные расчеты по эффективности использования биоклиматического потенциала культурами севооборотов проведены для всех районов ЛНР и рекомендованы схемы полевого севооборота с указанием группы спелости культур.

Изучены вопросы изменения продуктивности сельскохозяйственных культур с потеплением климата. В качестве показателя продуктивности культур использованы коэффициенты продуктивности с учетом количества осадков и температуры воздуха (по Дмитренко В.П.). В связи с увеличением числа засушливых и жарких дней в критические периоды развития культур заметно снижается продуктивность озимой пшеницы, подсолнечника и зерна кукурузы на зерно до 35–65%. Необходима разработка рекомендаций по оптимизации сроков сева культур.

ADAPTATION OF AGRICULTURAL CROPS TO CLIMATE WARMING IN DONBASS TAKING INTO ACCOUNT BIOCLIMATIC RESOURCES

Popytchenko L.M.¹, Kosogova T.M.², Reshetnyak N.V.³

¹⁻²Lugansk State Pedagogical University, Lugansk, Russian Federation

³Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk; Russian Federation

Keywords: climate, adaptation, crop rotation, productivity, bioclimatic potential

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ХРАНЕНИЯ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА НА ИХ ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА

Решетняк Н.В.¹, Тимошин Н.Н.¹, Косогова Т.М.^{2*}, Мазалов О.В.¹, Кудрявцев В.В.¹

¹Луганский государственный аграрный университет им. К.Е. Ворошилова, Луганск, Россия

²Луганский государственный педагогический университет, Луганск, Россия

*E-mail: inbotanlit87@list.ru

Ключевые слова: подсолнечник, посевные качества, рекомендации производству

Изучали влияние сроков хранения семян на посевные качества, масличность, массу 1000 семян и лужистость подсолнечника. Исследованиями установлено, что высокая энергия прорастания и всхожесть семян сохранялась в течении 5 лет. Семена имели лабораторную всхожесть не менее 95%, что соответствовало 1 классу (ГОСТ Р 52325–2005 Национальный стандарт Российской Федерации Сортовые и посевные качества семян сельскохозяйственных культур) (Малыхин, Решетняк, 1980–2011 гг.). Расхождение между лабораторной и полевой всхожестью у семян сорта Армавирский-3497 по срокам хранения с 1964–1979 гг. отмечено у семян урожая 1970 (23%), 1973 (19%) и 1977 (17%). Эти годы характеризовались массовым поражением посевов грибковыми заболеваниями. Изучение посевных качеств семян подсолнечника гибрида Командор-777в период с 2012 г. по 2023 г. показало, в отдельные годы семена характеризуются низкой энергией прорастания и всхожестью. В годы массового распространения болезней такие семена теряют посевные качества и становятся некондиционными. Выращенные на участке гибридизации с высоким агрофоном семена подсолнечника в 2019 году имели хорошие качества. После хранения в течении четырех лет в лаборатории кафедры земледелия и экологии окружающей среды ЛГАУ семена были по всем показателям качественнее. Предпосевная обработка семян со сниженными посевными качествами в результате длительного хранения препаратом «Нива» способствует повышению полевой всхожести на 7–9%. Благоприятным для роста и развития материнских линий подсолнечника был 2019 год — осадков выпало за период вегетации 270 мм, в фазу цветения — 64 мм, наблюдалось хорошее опыление цветущих растений насекомыми. Хранение семян при влажности 7% в течение пяти лет не оказалось негативного влияния на посевные качества, что положено в основу рекомендаций производству по выбору качественных семян для посева в текущем году на товарные цели, исходя из года их получения и срока хранения.

INFLUENCE OF STORAGE PERIODS OF SUNFLOWER SEEDS ON THEIR SOWING QUALITIES

Reshetnyak N.V.¹, Timoshin N.N.¹, Kosogova T.M.², Mazalov O.V.¹, Kudryavtsev V.V.¹

¹Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov, Lugansk, Russia

²Lugansk State Pedagogical University, Lugansk, Russia

Keywords: sunflower, sowing qualities, recommendations for production

УЧАСТИЕ ЛИПИДНЫХ КОМПОНЕНТОВ В АДАПТАЦИИ ЦВЕТКОВ РАСТЕНИЙ РОДА MALUS К НИЗКИМ ЗАКАЛИВАЮЩИМ ТЕМПЕРАТУРАМ

Рудиковская Е.Г.*¹, Дударева Л.В., Ставицкая З.О., Рудиковский А.В.

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

*E-mail: ruda169@mail.ru

Ключевые слова: *Malus baccata*, липиды, жирные кислоты, низкие температуры

Степень ущерба, наносимого низкими температурами плодовым садам, зависит от периода вегетации деревьев. Растения наиболее устойчивы к холodu в стадии покоя в середине зимы и более уязвимы ранней весной. Древесина и почки яблонь могут пережить морозы до -40°C , а набухшие бутоны и раскрытие цветки погибают при кратковременном воздействии температуры -2°C . Возвратные заморозки до $-4,40^{\circ}\text{C}$ приводят к потере до 90% урожая. Самой холодо- и морозоустойчивой в роде *Malus* является яблоня сибирская (*Malus baccata* (L.) Borkh.). Частично эта устойчивость сохраняется у её гибридов при скрещивании с яблоней домашней. Отрицательное воздействие низких температур на клеточном уровне заключается в замерзании внутриклеточной воды, вызывающем разрывы мембран и повреждения клеток. Мембранные липиды и их жирные кислоты во многом обеспечивают целостность клеточных мембран при действии стрессоров, в частности, низких температур. Поэтому целью исследования был сравнительный анализ влияния низких закаливающих температур на цветки холодостойких видов яблони сибирской, яблони домашней и её гибридов. Цветущие побеги выдерживали сутки при 10°C и 0°C . Экстракцию липидов проводили методом Фолча, жирнокислотный состав анализировали методом ГХ-МС.

В результате установлено, что в цветках всех генотипов при 0°C , увеличивается содержание липидов на 25–150%. При закаливании в тканях всех исследованных деревьев увеличивалось содержание пальмитиновой кислоты. Уровень олеиновой кислоты увеличивался либо не изменялся для сортов Пальметта и Алтайское румяное. В тканях цветков яблони сибирской, Пальметты, Подруги и Раннее Болоняева при закаливании увеличивалось содержание линолевой и линоленовой кислот. В цветках сорта Алтайское румяное, напротив, уменьшался уровень полиненасыщенных жирных кислот и, как следствие, коэффициент ненасыщенности (с 1,81 до 0,51) и индекса двойных связей (с 1,39 до 0,66). Полученные результаты позволяют предположить участие липидных компонентов в адаптации тканей цветков изученных видов яблони к низким закаливающим температурам.

PARTICIPATION OF LIPID COMPONENTS IN ADAPTATION OF MALUS FLOWERS TO LOW HARDENING TEMPERATURES

Rudikovskaya E.G.*¹, Dudareva L.V., Stavitskaya Z.O., Rudikovsky A.V.

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

Keywords: *Malus baccata*, lipids, fatty acids, low temperatures

РАЗЛИЧИЯ В РЕАКЦИИ РАСТЕНИЙ ТРЁХ ВИДОВ РОДА APtenia (СЕМ. AIZOACEAE) НА ЗАСОЛЕНИЕ

Сайдова Л.Т.*, Анисина А.А.

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

*E-mail: saidovalizat@mail.ru

Ключевые слова: Aptenia, засоление, фиторемедиация почв

Аптения (лат. *Aptenia*) — небольшой род многолетних суккулентных растений семейства аизовые (*Aizoaceae*), распространённых в Южной Африке. Эти растения используются для озеленения, в пищу и в народной медицине. Они легко размножаются черенкованием, быстро наращивают биомассу, устойчивы к засолению почвы и загазованности воздуха.

Для сравнительного исследования влияния засоления были выбраны 3 вида аптении: *Aptenia cordifolia*, *Aptenia lancifolia* и *Aptenia haekeliana*. Укоренённые растения выращивали в климатической камере на перлите в течение 34 дней (при температуре 25°C, освещённости 240 мкмоль/(м²·с) и 16-часовом световом дне). В качестве солевого стресса применяли NaCl в концентрациях 0 mM (контроль), 200 mM (среднее засоление) и 400 mM (сильное засоление). Измерения проводили на полностью сформированных фотосинтезирующих листьях.

Результаты исследования показали, что все три вида проявляли свойства галофитов и накапливали Na⁺ против градиента концентрации при 0 mM NaCl. При среднем засолении концентрация Na⁺ в тканях достигала 6 ммоль/г сухой массы, а при сильном засолении у *A. lancifolia* она возрасстала до 9.8 ммоль/г сухой массы. У всех видов наблюдался рост сухой массы листа и снижение активности ионсвязанной пероксидазы с увеличением концентрации NaCl. Содержание воды у *A. cordifolia* снижалось в 2 раза при 400 mM NaCl. У *A. lancifolia* содержание пролина при среднем засолении увеличивалось в 3.5 раза. У *A. cordifolia* и *A. lancifolia* при 400 mM NaCl наблюдалось значительное усиление активности супероксиддисмутазы (СОД) и растворимой гвяжоловой пероксидазы (ПОД). У *A. haekeliana* содержание воды, пролина, активность СОД и ПОД при засолении оставались без изменений. Активность каталазы у *A. cordifolia* при 200 и 400 mM NaCl возрастила на 30%, у *A. haekeliana* снижалась с увеличением засоления, а у *A. lancifolia* уменьшалась в 2.5 раза только при сильном засолении.

Таким образом, исследованные виды аптении демонстрируют различные стратегии адаптации к засолению. Все три вида пригодны для выращивания на среднезасолённых почвах. Среди изученных видов, *A. cordifolia* является наименее солеустойчивой, так как проявляет выраженные признаки стресса при 400 mM NaCl. Для озеленения и фиторемедиации сильнозасолённых почв можно рекомендовать использование *A. lancifolia* и *A. haekeliana*.

Выражаем благодарность руководителю Коллекции суккулентных растений ИФР РАН к. б. н., с. н. с. Лапшину Петру Владимировичу за предоставленный растительный материал.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России № 122042700044–6.

DIFFERENCES IN THE RESPONSE OF PLANTS OF THREE SPECIES OF THE GENUS APtenia (FAMILY AIZOACEAE) TO SALINITY

Saidova L.T., Anisina A.A.

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

Keywords: Aptenia, salinity, soil phytoremediation

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭПИФИТНЫХ ЛИШАЙНИКОВ НА РОСТОВЫЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ *LARIX CAJANDERI* НА ТЕРРИТОРИИ КРИОЛИТОЗОНЫ

Слепцов И.В.^{1*}, Рожина С.М.¹, Прокопьев И.А.^{1,2}, Михайлов В.В.¹,
Местникова А.А.¹, Жолобова Ж.О.², Алексеев К.В.¹

¹ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

* E-mail: neroxasg@mail.ru

Ключевые слова: лиственница, эпифитный лишайник, усниновая кислота, атранорин, метаболомный профайлинг, дендрохронология, ростовые процессы.

Эпифитные лишайники играют важную роль в бореальных лесных экосистемах, однако их аллелопатическое влияние на физиологию деревьев, особенно в условиях криолитозоны, изучено недостаточно. В данной работе изучается влияние эпифитного лишайника *Evernia esorediosa* и *Physcia alnophila* на биохимические и ростовые процессы *Larix cajanderi*. Показано, что основные лишайниковые кислоты исследуемых эпифитных лишайников усниновая кислота (*Evernia esorediosa*) и атранорин (*Physcia alnophila*) — дифундируют из талломов в кору и флоэму *L. cajanderi*, с флоэмным соком транспортируются в корневую систему, откуда с восходящим потоком через ксилему мигрируют в хвою. Усниновая кислота и атранорин, являясь фитотоксинами, нарушают функции митохондрий, приводят к угнетению дыхания, окислительного фосфорилирования, снижению синтеза АТФ и повышению уровня активных форм кислорода. Накопление усниновой кислоты и атранорина в тканях *L. cajanderi* приводит к замедлению радиального и верхушечного прироста деревьев. Метаболический профиль тканей лиственницы показал наличие лишайниковых полиолов (арабитол, маннит), повышение стрессовых биомаркеров (терпены, стеролы, фенольные кислоты) и нарушения цикла трикарбоновых кислот и окислительного фосфорилирования. Таким образом, усниновая кислота и атранорин из эпифитных лишайников *Evernia esorediosa* и *Physcia alnophila* мигрируют в ткани *L. cajanderi* и ингибируют энергетические процессы в тканях организма, что приводит к замедлению ростовых процессов дерева. Полученные данные подчеркивают важную роль эпифитных лишайников как факторов, модулирующих физиологию древесных растений в экстремальных условиях криолитозоны. Результаты имеют важное значение для понимания механизмов взаимодействия в бореальных экосистемах и прогнозирования их устойчивости в контексте климатических изменений. Исследования влияния эпифитных лишайников на *Larix cajanderi* на территории криолитозоны выполнены при поддержке гранта РНФ (проект № 24-74-00114).

ALLELOPATHIC EFFECTS OF EPIPHYtic LICHENS ON GROWTH AND BIOCHEMICAL PROCESSES OF LARIX CAJANDERI IN THE CRYOLITHOZONE

Sleptsov I.V.^{1*}, Rozhina S.M.¹, Prokopyev I.A.^{1,2}, Mikhaylov V.V.¹,
Mestnikova A.A.¹, Zhlobova Zh.O.², Alekseev K.V.¹

¹ Institute for Biological Problems of the Cryolithozone Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

² Komarov Botanical Institute Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Keywords: larch, epiphytic lichen, usnic acid, atranorin, metabolomic profiling, dendrochronology, growth processes.

РЕОРГАНИЗАЦИЯ ТУБУЛИНОВОГО ЦИТОСКЕЛЕТА ПРИ РАЗВИТИИ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ КЛУБЕНЬКОВ

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

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Российская Федерация

*E-mail: vetsyganov@arriam.ru

Ключевые слова: бобово-rizobiальный симбиоз, тубулиновый цитоскелет, микротрубочки, бактероид, симбиосома

Развитие симбиотических клубеньков сопровождается масштабной дифференцировкой растительных клеток, направленной на создание условий для размещения в них тысяч временных клеточных органелл — симбиосом. Очевидно, что важную роль в клеточной дифференцировке играют перестройки цитоскелета. Нами был проведен сравнительный анализ организации микротрубочек у шести видов бобовых растений, 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 организации тубулинового цитоскелета.

Среди общих паттернов выделялись нерегулярный паттерн (микротрубочки перекрецивались под разными углами) кортикальных микротрубочек в меристематических клетках, а также тесная ассоциация эндоплазматических микротрубочек с инфекционными нитями и инфекционными каплями в инфицированных клетках.

В недетерминированных клубеньках в азотфиксирующих клетках эндоплазматические микротрубочки, располагающиеся между симбиосом, формировали различные паттерны организации, что коррелировало с выраженным различиями в морфологии бактероидов в клубеньках изученных видов бобовых растений. В детерминированных клубеньках был выявлен только нерегулярный паттерн эндоплазматических микротрубочек.

В неинфицированных клетках кортикальные микротрубочки формировали нерегулярный паттерн в клубеньках *Glycine max* и *G. soja*, тогда как для остальных видов был характерен регулярный паттерн (микротрубочки были ориентированы поперечно продольной оси клетки). В недетерминированных клубеньках в инфицированных клетках кортикальные микротрубочки формировали нерегулярный паттерн, а в зрелых клетках детерминированных — регулярный. Выявленные различия в организации кортикальных микротрубочек в различных типах клубеньков, вероятно, указывают на эволюционный переход инфицированных клеток от анизотропного роста в детерминированных клубеньках к изотропному росту в недетерминированных клубеньках, что обеспечило эволюционное преимущество видам Бобовых с недетерминированными клубеньками, позволяя им более эффективно размещать симбиосомы в инфицированных клетках.

Работа поддержана грантом 24-16-00156.

REORGANIZATION OF THE TUBULIN CYTOSKELETON DURING THE DEVELOPMENT OF NITROGEN-FIXING NODULES

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

All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russian Federation

Keywords: legume-rhizobium symbiosis, tubulin cytoskeleton, microtubules, bacteroid, symbiosome

ВАЛОРИЗАЦИЯ КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

Соловченко А.Е.*¹, Селях И.О., Семенова Л.Р., Щербаков П.Н., Федоренко Т.А., Шурыгин Б.М., Лукьянов А.А., Бондаренко Г.Н., Васильева С.Г., Михайлова Е.С., Крюк В.А., Лобакова Е.С.

Биологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва GSP-1 119234, Россия

Химический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, GSP-1, 119234, Россия

Институт нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных технологий, Кемеровский государственный университет, Кемерово, 650000, Россия

*E-mail: solovchenkoae@my.msu.ru

Ключевые слова: микроводоросли, сточные воды, биологическая очистка.

Очистка карьерных сточных вод (КСВ) и рекультивация выработанных карьеров угольных шахт относятся к числу серьезных экологических проблем во всем мире. Фиторемедиация с использованием быстрорастущих растений, устойчивых к стрессам, является многообещающим решением, которое, однако, сдерживается высокими затратами на производство посадочного материала и риском эпифитотий в питомниках и теплицах. С целью решения этих проблем оценивали целесообразность использования КСВ с высоким содержанием Fe, Mn и Zn для орошения и подкормки растений сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и костра безостого (*Bromus inermis* Leyss), а также совместимость КСА с пестицидами Actara® и Previcur Energy®, широко применяемыми для защиты растений. Мы также протестировали выращенную с использованием КСВ в качестве среды биомассу микроводоросли *Pseudosarcina simplex*, выделенной из отстойника для КСВ, в качестве биоудобрения. Тестировали как суспендированную, так и иммобилизованную на биоразлагаемом хитозановом носителе биомассу, которую наносили на субстрат для проращивания семя и вносили в почву. По данным прямого и неинвазивного мониторинга КСВ не оказывали острого токсического воздействия на ниже. В ходе краткосрочных экспериментов не было обнаружено увеличения содержания Fe, Mn или Zn в растениях костра безостого. Показано, что отработанные полимерные носители с иммобилизованной биомассой микроводорослей, полученные при биологической очистке КСВ, можно использовать в качестве почвенной добавки или биоудобрения. Нанесение хитозанового геля с микроводорослями на субстрат для проращивания семян костра безостого значительно повысило их всхожесть. Орошение КСВ было совместимо с изучаемыми пестицидами. Более того, комбинация обработки пестицидами, КСВ и внесения биомассы микроводорослей стимулировала рост сеянцев сосны при их гидропонном выращивании. В целом, были успешно протестированы основные компоненты технологии валоризации КСВ с использованием микроводорослей для выращивания растений, предназначенных для рекультивации угольных разрезов, но более точная оценка рисков загрязнения тяжелыми металлами требует долгосрочных мониторинговых экспериментов.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 23-44-00006, культивирование микроводорослей и растений) и КемГУ (мониторинг растений, проект 374/2024/22

VALORIZAZIONE DI ACQUA DI SPALMA IN QUARRY IN AGRICOLTURA PLANTS FOR RECLAMAZIONE DI MINIERI APERTI DI CARBONIFERO

Solovchenko A.E., Selyakh I.O., Semenova L.R., Shcherbakov P.N., Fedorenko T.A., Shurygin B.M., Lukyanov A.A., Bondarenko G.N., Vasilyeva S.G., Mikhailova E.S., Kryuk V.A., Lobakova E.S.

Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow GSP-1 119234, Russia

Chemistry Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow Lomonosov, Moscow,
GSP-1, 119234, Russia

Institute of Nano-, Bio-, Information, Cognitive and Socio-Humanitarian
Technologies, Kemerovo State University, Kemerovo, 650000, Russia

Key words: microalgae, wastewater, biological treatment.

ОВОДНЕННОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ВОДА-ЛЁД И МЕТАБОЛИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧЕК ГОЛОСЕМЕННЫХ И ПОКРЫТОСЕМЕННЫХ РАСТЕНИЙ В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Табаленкова Г.Н., Малышев Р.В.

Институт биологии Коми научный центр УрО РАН, Сыктывкар, Россия

E-mail: tabalenkova@ib.komisc.ru

Ключевые слова: почки, оводненность, температура кристаллизации, фракции воды

Трансформация климата отражается на всех экосистемах, в том числе и на лесах. Повышения осенних температур, уменьшение глубины зимнего покоя, преждевременное возобновление метаболической активности приводят к повреждению растений в период зимних оттепелей. Особо чувствительными являются меристематические ткани почек, где осуществляются процессы роста, пролиферации и дифференциации клеток и тканей. В значительной степени степень повреждения растений от температурных колебаний зависит от оводненности и состояния воды в тканях. Объектом исследований были вегетативные почки ели сибирской, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, березы повислой. Содержание воды в почках варьировало в диапазоне, от 29 до 54% сырой массы. Общей тенденцией для всех видов было снижение оводненности в зимний период и ее повышение весной. Оводненность почек голосеменных пород (ель, сосна, лиственница) зимой различалась незначительно и составляла $44\pm3\%$, что выше, чем у покрытосеменных (береза) $35\pm2\%$. Доля свободной воды в зимние месяцы была около 20%, что ниже, чем осенью и весной. Калориметрические определения выявили величину и сезонные изменения температуры фазового перехода вода — лед. Размах варьирования температуры замерзания воды были сходными с изменением оводненности почек. Поздней осенью и зимой температура замерзания воды была ниже на 2–3 °C, чем весной. Для почек листопадных пород (береза, лиственница) температура кристаллизации воды изменялась в пределах -7 — -10°C , для вечнозеленых хвойных (ель, сосна) — 14 — -18°C . Интенсивность дыхания при выведении из покоя составляла 0.004–0.02 нмоль $\text{CO}_2/\text{мг сухой массы с}$. Искусственная стимулация роста почек не вызывала существенного отклика метаболизма, что выражалось в невысоких скоростях запасаемой энергии. Для почек ели и сосны количество запасаемой энергии изменялось в пределах 0.3–0.8, для березы и лиственницы 1.8–6,0 мкВт/мг сухой массы. Таким образом, в осенне-зимний период в почках изменяется общая оводненность, доля свободной воды и температура фазового перехода вода — лед. Почки листопадных пород (береза, лиственница) отличались от вечнозеленых хвойных более высокой температурой кристаллизации воды и количеством запасаемой энергии, что свидетельствует о различной глубине покоя.

Работа выполнена в рамках темы № 125020301262–2

WATER CONTENT, TEMPERATURE OF WATER-ICE PHASE TRANSITION AND METABOLIC ACTIVITY OF BUDS OF GYMNOSPERMS AND ANGIOSPERMS IN AUTUMN-WINTER PERIOD

Tabalenkova G.N., Malyshев R.V

Institute of Biology, Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Key words: buds, water content, temperature, crystallisation temperature, water fractions

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ЗЛАКОВ С РАЗНЫМ ТИПОМ ФОТОСИНТЕЗА НА НАТРИЙ-ХЛОРИДНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ

Таскина К.Б., Казнина Н.М.

Институт биологии КарНЦ РАН — обособленное подразделение
ФИЦ “Карельский научный центр РАН”, Петрозаводск, Россия
E-mail: tasamayaksenia@gmail.com

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, *Sorghum bicolor*, засоление, биомасса, фотосинтетический аппарат.

В лабораторных условиях изучали ответную реакцию двух видов злаков, различающихся типом ассимиляции CO₂: ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L. сорт Нур), имеющий C3-тип фотосинтеза, и сорго сахарное (*Sorghum bicolor* (L.) Moench сорт Кинельское 4) с C4-типом фотосинтеза. Растения выращивали под светоустановкой на питательном растворе Хогланда-Арнона без добавления NaCl (контроль) или с добавлением соли в концентрации 150 мМ (опыт). Спустя 7 суток измеряли ряд показателей роста, фотосинтетического аппарата, а также интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), содержание пролина и каротиноидов, активность супероксиддисмутазы (СОД).

Обнаружено, что под влиянием засоления у злаков снижалась (по сравнению с контролем) биомасса корня и побега. При этом если у ячменя в большей степени тормозилось накопление надземной биомассы, то у сорго — подземной, вследствие чего соотношение биомасса побега/биомасса корня у ячменя снижалось, а у сорго — заметно возрастало. Помимо этого при действии соли у обоих видов замедлялась скорость фотосинтеза, что было связано с частичным закрытием устьиц и снижением устьичной проводимости. Однако при практически равном уменьшении диаметра устьичной щели, скорость процесса у ячменя ингибировалась в присутствии NaCl гораздо сильнее, чем у сорго.

При воздействии соли у обоих видов злаков выявлено усиление интенсивности ПОЛ, о чем свидетельствует повышение содержания малонового диальдегида. При этом резко возрастило содержание пролина — важного неферментного компонента антиоксидантной системы (АОС), что в большей степени было выражено у сорго. У этого же вида отмечено более высокое по сравнению с ячменем содержание каротиноидов, также участвующих в защите клеток от окислительного стресса. Кроме того, только у сорго несколько возрастала активность одного из основных антиоксидантных ферментов — СОД.

В целом, сорго оказалось более устойчивым к засолению, чем ячмень. Очевидно, это связано с повышенным содержанием компонентов АОС, обеспечивающим сохранение окислительно-восстановительного баланса клеток, а также со способностью растений поддерживать более высокий уровень фотосинтеза даже при частичном закрытии устьиц, обеспечивая тем самым большее накопление надземной биомассы.

Финансирование осуществлялось из средств государственного задания ИБ КарНЦ РАН (FMEN-2022-0004).

RESPONSE OF CEREALS WITH DIFFERENT TYPES OF PHOTOSYNTHESIS TO SODIUM-CHLORIDE SALINITY

Taskina K.B., Kaznina N.M.

Institute of Biology, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences — a separate division of the FRC “Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences”, Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Hordeum vulgare*, *Sorghum bicolor*, salinity, biomass, photosynthetic apparatus.

ДЕГИДРИНЫ В АДАПТАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ К ПРИРОДНЫМ УСЛОВИЯМ КРИОЛИТОЗОНЫ ЯКУТИИ

Татаринова 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: адаптация, дегидрины, древесные растения, криолитозона

В лесных ландшафтах Центральной Якутии древесные растения в процессе адаптации к условиям холодного климата и многолетней мерзлоты приобрели необычайно высокую морозоустойчивость. В механизмах формирования устойчивости растений к экстремально низким температурам криолитозоны принимают участие и стрессовые белки-дегидрины. Дегидрины являются высокогидрофильными белками, содержащими консервативные K-, Y- и S-сегменты, им отводится важная роль в защите клеток растений от дегидратации при низкотемпературном стрессе. С использованием специфических антител в побегах и почках березы повислой (*Betula pendula* Roth), в побегах и хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), в побегах лиственницы Каяндеры (*Larix cajanderi* Mayr) и ели обыкновенной (*Picea obovata* Ledeb.), произрастающих в криолитозоне Якутии, в годичном цикле деревьев нами идентифицированы две группы мажорных белков в диапазоне м. м. 14–21 и 56–73 кД. Дегидрины 56–73 кД были представлены круглогодично, что свидетельствует об их конститутивных свойствах. Независимо от видовых особенностей, наибольшим изменениям были подвержены низкомолекулярные дегидрины. В побегах и почках березы сезонно вариабельными являлись дегидрины с м. м. 17–21 кД, в побегах и хвое сосны — 14–15 кД, в побегах лиственницы — 14–18 кД и в побегах ели — 13–17 кД. Установлено, что самый высокий уровень дегидринов отмечался в период зимнего покоя, когда наблюдались низкие отрицательные температуры. Содержание их заметно снижалось весной (апрель–май), а низкий уровень белков приходился на период вегетации. Накопление всех дегидринов происходило осенью, при переходе деревьев к покоя (конец августа–сентябрь) и коррелировало с уменьшением содержания воды в тканях. Такое появление дегидринов во время осенней акклиматации деревьев указывает на их индуцируемый характер в ответ на сокращение длины дня, снижение температуры и водный стресс.

Сходный характер сезонных изменений дегидринов, связанный с накоплением осенью и высоким уровнем в холодный период года, предполагает их участие в защите клеток от обезвоживания в процессах, ассоциированных с перезимовкой деревьев. Изменения состава и разнообразие дегидринов в сезонном цикле лесообразующих видов указывают на их важную роль в адаптации древесных растений к природным условиям криолитозоны Якутии.

DEHYDRINS IN ADAPTATION OF WOODY PLANTS TO NATURAL CONDITIONS OF THE CRYOLITHOZONE OF YAKUTIA

Tatarinova T.D., Perk A.A., Vasileva I.V., Ponomarev A.G.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: adaptation, dehydrins, woody plants, cryolithozone

ОБНАРУЖЕНИЕ БЕСПРЕЦЕДЕНТНОГО 16-ЛИПОКСИГЕНАЗНОГО ПУТИ В РАСТЕНИЯХ ОГУРЦА И ЛЬНА

Топоркова Я.Ю.*¹, Горина С.С., Ланцова Н.В., Ильина Т.М., Гречкин А.Н.

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

*E-mail: yanchens@yandex.ru

Ключевые слова: оксилипины, липоксигеназа, ферменты CYP74, алленоксидсинтаза, гидропероксидлиаза

Липоксигеназный каскад растений является источником разнообразных по структуре регуляторных оксилипинов, играющих важную роль в клеточной сигнализации, адаптации к стрессу и иммунных ответах. Ключевыми ферментами каскада являются липоксигеназы и ферменты вторичных превращений продуктов липоксигеназной реакции, в первую очередь, цитохромы P450 семейства CYP74, включающие алленоксидсинтазы (АОС), гидропероксидлиазы (ГПЛ), дивинилэфирсингтазы (ДЭС) и эпоксиалкогольсингтазы (ЭАС). До недавнего времени липоксигеназы разделяли на 9- и 13-специфичные. Недавно нами была обнаружена и описана беспрецедентная 16 (S) — специфичная липоксигеназа CsLOX3 огурца, основным продуктом которой является 16 (S) — гидроперекись альфа-линоленовой кислоты (16-ГПОТ). В настоящей работе мы впервые сообщаем о выявлении продуктов дальнейшего превращения 16-ГПОТ при участии ферментов семейства CYP74 — АОС и ГПЛ — в тканях огурца и льна. Были обнаружены 15-гидрокси-9,12-пентадекадиеновая кислота (продукт 16-ГПЛ активности) и 15,16-дигидрокси-9,12-октадекадиеновая кислота (продукт 16-АОС активности), а также их производные, которые могут играть важную роль в различных физиологических процессах. Для подтверждения возможности превращения 16-ГПОТ при участии ферментов CYP74 рекомбинантные алленоксидсинтазы и гидропероксидлиазы огурца и льна инкубировали с 16-ГПОТ, и анализировали синтезируемые продукты. При участии АОС 16-ГПОТ превращается через окись аллена в альфа-кетол 15-оксо-16-гидрокси-9,12-октадекадиеновую кислоту. При участии ГПЛ из 16-ГПОТ образуется (9Z,12Z) — 15-оксо-9,12-пентадекадиеновая кислота и комплементарный летучий С3 фрагмент — пропионовый альдегид. Все продукты были детально охарактеризованы с помощью ВЭЖХ, ГХ-МС и ЯМР. Полученные данные расширяют наши знания о растительном липоксигеназном каскаде.

Получение и характеристику рекомбинантных ферментов CYP74 проводили при финансовой поддержке государственного задания Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук». Изучение 16-специфичной липоксигеназы CsLOX3 и продуктов 16-липоксигеназной ветви проводили при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-14-00418).

DISCOVERY OF AN UNPRECEDENTED 16-LIPOXYGENASE PATHWAY IN CUCUMBER AND FLAX PLANTS

Toporkova Ya.Yu.*¹, Gorina S.S., Lantsova N.V., Ilyina T.M., Grechkin A.N.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: oxylipins, lipoxygenase, CYP74 enzymes, allene oxide synthase, hydroperoxide lyase

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОРЧИЦЫ САРЕПТСКОЙ И ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗБЫТКА ЦИНКА И НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Холопцева Е.С., Казнина Н.М.

ИБ КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия;
holoptseva@krc.karelia.ru

Ключевые слова: горчица сарептская, горчица белая, избыток цинка, низкая температура

Целью работы было изучение влияния избытка цинка, низкой температуры и их совместного действия на некоторые физиолого-биохимические показатели двух видов растений семейства *Brassicaceae*.

Растения горчицы белой (*Sinapis alba* L.) с. Радуга и горчицы сарептской (*Brassica juncea* (L.) Czern) с. Ника выращивали в контролируемых условиях на растворе Хогланда-Арнона с оптимальным ($Zn5 \text{ мкM}$) или избыточным ($Zn1000 \text{ мкM}$) содержанием цинка. Спустя 7 сут половину растений обоих вариантов опыта подвергали воздействию 4°C , остальные оставляли при 22°C . Контролем служили растения варианта $Zn5$, 22°C . Через 7 сут оценивали влияние избытка цинка, низкой температуры и их совместного действия на показатели роста и фотосинтетического аппарата (ФСА), а также определяли содержание цинка в органах.

Обнаружено, что при раздельном действии избытка цинка и низкой температуры у изученных видов практически в равной степени снижалась (по сравнению с контролем) высота побега и его биомасса. При совместном действии стрессоров у *S. Alba* торможение роста было более сильным, чем при их раздельном воздействии, тогда как у *B. juncea* такого не наблюдалось.

Избыток цинка, как при 22°C , так и при 4°C приводил к замедлению скорости фотосинтеза, что более явно было выражено у *B. juncea*. При этом и содержание хлорофиллов и каротиноидов снижалось у *B. juncea* сильнее, чем у *S. alba*. При действии только низкой температуры содержание пигментов также уменьшалось у обоих видов, хотя и в меньшей степени, чем при избытке цинка. В то же время скорость фотосинтеза сохранялась на уровне контроля. Помимо этого, оба стресс-фактора, действующие раздельно, тормозили скорость транспирации, что усиливалось при их совместном воздействии. Выявлено также, что в вариантах с избытком цинка, независимо от температуры, его содержание у *S. Alba* оказалось выше, чем у *B. juncea*, особенно в корнях.

В целом, оба изученных вида способны произрастать при избытке цинка в корнеобитаемой среде, причем как в оптимальных температурных условиях, так и при гипотермии. При этом у *S. Alba* при более высоком содержании цинка в органах, адаптация к изученным стресс-факторам направлена в большей степени на сохранение активности ФСА, тогда как у *B. juncea* — на поддержание роста.

Финансирование осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение ГЗ (№ FMEN-2022-0004).

PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF SAREPTSKAYA MUSTARD AND WHITE MUSTARD UNDER THE EFFECT OF EXCESS ZINC AND LOW TEMPERATURE

Kholoptseva E.S., Kaznina N.M.

IB KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia;

Keywords: Sareptsk mustard, white mustard, excess zinc, low temperature

РЕГУЛЯЦИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ТРАНСПОРТА ЦИТОХРОМНЫМ B_6F КОМПЛЕКСОМ: ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ СЛОЖНОГО ОТВЕТА

Хрущев С.С.*, Плюснина Т.Ю., Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
биологический ф-т, каф. биофизики, Москва, Российская Федерация

*E-mail: styx@biophys.msu.ru

Ключевые слова: фотосинтез, регуляция, математическое моделирование

Световые реакции фотосинтеза происходят в тилакоидной мембране и приводят к разделению зарядов, образованию высокоактивных радикалов и последующему накоплению АТФ и НАДФН, необходимых для синтеза органических соединений. Цитохромный b_6f комплекс выступает в качестве связующего звена между фотосистемами 2 и 1, пропуская через себя как линейный поток электронов от фотосистемы 2 к фотосистеме 1 и далее к ферредоксин: НАДФ-оксидредуктазе, так и циклический электронный транспорт вокруг фотосистемы 1, основной функцией которого является выработка АТФ. Известно, что цитохромный b_6f комплекс принимает активное участие в регуляции этих потоков, активируя Stt7/STN7 киназу, которая фосфорилирует белки светособирающего комплекса и отвечает за перераспределение светособирающей антенны между реакционными центрами фотосистем 1 и 2 при изменении восстановленности пула пластохинонов. Функционирование в цитохромном b_6f комплексе Q-цикла требует для переноса электронов на пластоцианин использования в качестве субстрата как окисленной, так и восстановленной формы пластохинона, что приводит к немонотонной зависимости скорости электронного транспорта от степени восстановленности пула пластохинонов. Такая немонотонность может приводить к тому, что цитохромный b_6f комплекс может выступать в качестве «пассивного» регулятора потока электронов, обуславливающего немонотонную зависимость скорости линейного электронного транспорта от интенсивности света. Математическое моделирование показывает, что снижение активности цитохромного b_6f комплекса может приводить к появлению триггерных режимов, то есть таких ситуаций, когда скорость стационарного потока электронов в линейном электронном транспорте зависит от истории системы: скорость потока при последовательном увеличении интенсивности света оказывается выше, чем при последовательном её уменьшении. Результаты моделирования качественно согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

REGULATION OF PHOTOSYNTHETIC LINEAR ELECTRONIC FLOW BY CYTOCHROME B_6F : SIMPLE MECHANISMS OF A COMPLEX RESPONCE

Khruschev S.S., Plyusnina T.Yu., Riznichenko G.Yu., Rubin A.B.

Lomonosov Moscow State University, School of Biology, Biophysics Dept., Moscow, Russian Federation

Key words: photosynthesis, regulation, mathematical modeling

ВИДОВАЯ СПЕЦИФИЧНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ СИМБИОТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА В АЗОТФИКСИРУЮЩИХ КЛУБЕНЬКАХ

Цыганова А.В.^{1*}, Киричек Е.А.¹, Селиверстова Е.В.², Цыганов В.Е.¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Институт эволюционной физиологии и биохимии имени И. М. Сеченова РАН, Санкт-Петербург, Российская Федерация

*E-mail: avtsyganova@arriam.ru

Ключевые слова: бобово-rizobiальный симбиоз, симбиотический интерфейс, инфекционная нить, клеточная стенка, симбиосома

В ходе эволюции растения использовали функциональные возможности микроорганизмов для расширения своего адаптивного потенциала. Одной из особенностей, связанных с симбиотическим взаимодействием между бобовыми растениями и ризобиями, является образование специализированных органов, называемых клубеньками, в которых создаются специализированные компартменты для размещения множества бактериальных клеток и благоприятная микросреда для активности бактериальной нитрогеназы. Существует несколько типов клубеньков, различающихся по локализации новообразованной меристемы и сохранения ее активности. Так, в детерминированных клубеньках временная меристема формируется в клетках наружных слоев коры, в недетерминированных постоянная меристема инициируется в клетках внутренних слоев коры и перицикле, а в люпиноидных клубеньках постоянно действующая меристема закладывается в клетках наружных слоев коры корня. Функционирование клубеньков бобовых растений во многом зависит от модификации растительно-микробной поверхности взаимодействия (симбиотического интерфейса), где происходит активный обмен сигналами и метаболитами между партнерами.

В настоящем исследовании было проведено полномасштабное изучение компонентного состава симбиотического интерфейса в клубеньках различных типов: недетерминированных (*Pisum sativum*, *Medicago truncatula*, *Galega orientalis*, *Vavilovia formosa*), детерминированных (*Glycine max*) и люпиноидных (*Lupinus angustifolius*). Были выявлены общие и зависящие от типа клубенька модификации симбиотического интерфейса. Так, к общим относится локализация метилэтерифицированного гомогалактуронана в клеточных стенках и стенках инфекционных нитей и арабинанов со степенью полимеризации 2–7 в мембранах малодифференцированных симбиосом. К модификациям, зависящим от типа клубенька, можно отнести локализацию галактанов в стенках инфекционных нитей в недетерминированных клубеньках и клеточных стенках неинфицированных клеток в детерминированных клубеньках, преимущественную локализацию фукозилированного ксилоглюкана в стенках инфекционных нитей в детерминированных клубеньках и промежуточный характер модификаций пространственно-онтогенетических маркеров арабиногалактановых белков в люпиноидных клубеньках.

Работа поддержана грантом РНФ 23-16-00090.

SPECIES SPECIFICITY OF SYMBIOTIC INTERFACE FORMATION IN NITROGEN-FIXING NODULES

Tsyganova A.V.¹, Kirichek E.A.¹, Seliverstova E.V.², Tsyganov V.E.¹

¹All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russian Federation

²I.M. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

Keywords: legume-rhizobial symbiosis, symbiotic interface, infection thread, cell wall, symbiosome

ОЦЕНКА МОРФО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТЬЕВ *OLEA EUROPAEA* L., АССОЦИИРОВАННЫХ С ПРИЗНАКОМ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ В КАЧЕСТВЕ БИОМАРКЕРОВ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ

Цюпка С.Ю.*, Булавин И.В., Таран Н.А., Синченко А.В., Цюпка В.А.

«Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН», г. Ялта, Россия
E-mail: tsupkanbg@mail.ru

Ключевые слова: маслина, дегидратация, биомаркеры, фенотипирование

Маслина европейская (*Olea europaea* L.) является одной из основных плодовых культур в мире. Выращивание оливок оценивается в 10,9 млн гектаров, большая часть из которых находится в зоне недостаточного водообеспечения. Разработка новых высокоурожайных сортов, устойчивых к засухе, является одной из наиболее эффективных стратегий повышения урожайности маслины. Селекция по данному признаку осложняется отсутствием быстрых, воспроизводимых методов скрининга. Таким образом, эффективность отбора может быть улучшена, если определенные физиологические и морфологические признаки будут идентифицированы в качестве надежных маркеров. В связи с этим, целью данного исследования было изучение и выделение данных признаков для скрининга засухоустойчивости сортов и гибридных форм оливы.

В результате проведения экспериментов отмечена значительная вариация морфологических и физиологических характеристик: плотности устьиц и трихом, длины, ширины и площади листа, массы листа на единицу площади, плотности листовой ткани и др., а также физиологических параметров: водоудерживающей способности листьев и относительного выхода электролита. Выявлена зависимость между изученными критериями, определено их влияние на формирование засухоустойчивости. Самые высокие коэффициенты корреляции отмечены между размером устьичной щели и водоудерживающей способностью ($r=-0,85$), потерей воды листьями ($r=0,87$) и относительным выходом электролита ($r=0,87$).

Таким образом, среди физиологических показателей наиболее информативными критериями можно считать водоудерживающую способность листьев, а среди морфологических — размер устьичной щели наряду с распределением устьичных аппаратов. Перечисленные признаки имеют также высокую корреляционную связь с относительным выходом электролита при контролируемой водоотдаче. Эти показатели могут быть использованы в качестве биомаркеров для дифференциации сортов и гибридов маслины по степени устойчивости к засухе.

Благодарности. «Исследование выполнено за счет средств Гранта Российской научного фонда № 24-26-00066, <https://rscf.ru/project/24-26-00066/>» на базе Уникальной научной установки «ФИТОБИОГЕН» и ЦКП «Физиолого-биохимические методы исследования растительных объектов».

EVALUATION OF MORPHO-PHYSIOLOGICAL TRAITS OF LEAVES *OLEA EUROPAEA* L. ASSOCIATED WITH DROUGHT TOLERANCE TRAIT AS BIOMARKERS FOR SELECTION

Tsiupka S.Y.*, Bulavin I.V., Taran N.A., Sinchenko A.V., Tsiupka V.A.

“Nikita Botanical Gardens — National Scientific Center”, Yalta, Russia
E-mail: tsupkanbg@mail.ru

Keywords: olive, dehydration, biomarkers, phenotyping

ПОДБОР СИСТЕМЫ ПРАЙМЕРОВ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ, АССОЦИИРОВАННЫХ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ СОРТОВ *Olea europaea* L.

Цюпка В.А., Цюпка С.Ю., Синченко А.В., Таран Н.А.

ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН», Ялта, Россия
valentina.brailko@yandex.ru

Ключевые слова: экспрессия генов, морозостойкость, листья, маслина.

Маслина (*Olea europaea* L.) — культура, имеющая важное экономическое и культурное значение, характеризующаяся низкой морозостойкостью. Изучение данного аспекта позволит усовершенствовать селекционный отбор и создать новые сорта с более высокой адаптацией к климатическим особенностям Юга России, что будет способствовать обеспечению продовольственной безопасности. Физиологические и морфологические адаптации растений к низким температурам регулируются несколькими путями восприятия и передачи сигналов стресса, которые взаимодействуют на разных этапах, активируя или подавляя различные гены. Цель настоящего исследования — подбор системы праймеров для количественной оценки уровня экспрессии генов, ассоциированных с устойчивостью к низким температурам сортов у маслины. По результатам аналитического обзора литературы составлена база дифференциально-экспрессирующихся генов при морозном воздействии. Охвачены гены, связанные с составом мембранны, гены метаболизма фенилпропаноидов, гены ферментов антиоксидантной системы, гены биосинтеза и гидролиза секоиридоидов и фенольных соединений, фосфорилированием, дегидриновые белки. Последовательности генов взяты из баз NCBI, Ensemble Gramene. Праймеры для экспрессионного анализа разработаны в программе Primer-BLAST. Исследования проведены на контрастных по степени морозостойкости генотипах: устойчивом Никитская Крупноплодная и восприимчивом Corregiolo. Анализ выполняли на листьях из полевых условий перезимовки и после моделирования низкотемпературного стресса (-7, -10, -12, -14°C в течение 12 часов). РНК из листьев выделена набором InnuPREP Plant RNA Kit (43–179 нг/мкл, A₂₆₀/230 = 1,86–2,02, A₂₆₀/280=2,00–2,31, RIN 7,3–8,6); кДНК синтезирована при помощи набора Mint kit-2. В результате проведения qPCR (использовали 5X qPCRmix-HS SYBR) выделены гены, показавшие существенно изменяющийся уровень экспрессии в связи с действием низкотемпературного стресса: *Oe8-HGO*, *OeISY*, *OeIO*, *Oe7-DLGT*, *OeGES*, *OeAPX*, *OeWRKY14*, *OeCAT*, *OeGAPDH*, *OeCBF*, *OePPO*, *OeBGLV1A*. В качестве референных генов использованы *UBC1*, *CLATHRIN*, *ACT*.

Благодарности: Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-26-00139, <https://rscf.ru/project/24-26-00139/> на базе Уникальной научной установки «ФИТОБИОГЕН».

SELECTION OF A PRIMER SYSTEM FOR QUANTIFYING THE EXPRESSION LEVEL OF GENES ASSOCIATED WITH LOW TEMPERATURE TOLERANCE IN *OLEA EUROPAEA* L CULTIVARS

Tsiupka V.A., Tsiupka S.Y., Sinchenko A.V., Taran N.A.

Nikita Botanical Gardens—National Scientific Center of the RAS”

Key words: gene expression, frost resistance, leaves, olive.

ФОТОПЕРИОДИЧЕСКИЙ СТРЕСС У РАСТЕНИЙ: ОТ ЭКСПЕРИМЕНТОВ К ПРАКТИКЕ

Шибаева Т.Г., Титов А.Ф.

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

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

Ключевые слова: растения, фотопериодический стресс, свето-темновые циклы

Исследования реакции растений на резкую смену фотопериода привели в последние годы к появлению и закреплению в литературе понятия «фотопериодический стресс». Оказалось, что внезапные резкие изменения фотопериода, в частности, его удлинение на несколько часов (например, с 8 до 32 ч), могут вызывать у растений, адаптированных к короткому дню, окислительный стресс, обусловленный усилением генерации АФК. Кроме того, эксперименты показали, что такие же по своей сути изменения в жизнедеятельности растений могут происходить и тогда, когда растения подвергаются воздействию так называемых аномальных свето-темновых циклов, т. е. существенно удлиненных или, наоборот, укороченных свето-темновых воздействий, отличающихся от обычного 24-часового цикла смены дня и ночи. Сила стресса при этом зависит от длительности светового периода и значительное его удлинение может стать для растений критичным. В отличие от этого, слабый и умеренный фотопериодический стресс индуцируют у растений включение механизмов неспецифической устойчивости, мобилизацию имеющихся защитных сил, что позволяет им избежать серьезных негативных последствий воздействия неблагоприятных фотопериодических условий. Более того, в определенных случаях в растениях могут происходить такие изменения, которые важны и полезны с хозяйственной точки зрения. Например, может ускоряться развитие растений, повышаться устойчивость к другим видам стресса, включая биотический, увеличиваться содержание веществ, повышающих их пищевую ценность (антиоксидантов, витаминов и других биологически активных веществ) и биобезопасность (например, вследствие снижения содержания нитратов).

Таким образом, изучение фотопериодического стресса, как особого феномена, не только расширяет наши знания об адаптивном потенциале растений и механизмах его реализации, но и создает новые предпосылки для ведения селекции на повышение стрессоустойчивости растений, а также для разработки новых технологий, обеспечивающих повышение эффективности выращивания растений в закрытых системах.

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

PHOTOPERIODIC STRESS IN PLANTS: FROM EXPERIMENTS TO PRACTICE

Shibaeva T.G., Titov A.F.

Institute of Biology, FRC «Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences», Petrozavodsk, Russia

Keywords: plants, photoperiodic stress, light-dark cycles

ЭКСПРЕССИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ГЕНОВ *CHENOPODIUM QUINOA* ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ АБИОТИЧЕСКИХ СТРЕССОВ

Шуйская Е.В.*¹, Рахманкулова З.Ф., Saidova Л.Т., Анисина А.А., Прокофьева М.Ю.

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

*E-mail: evshuya@gmail.com

Ключевые слова: Рубиско, фотосистемы I и II, транспорт электронов.

Изменение климата сопровождается повышением температуры, усилением засухи и засоления почвы. Все эти факторы отрицательно влияют на фотосинтез растений, как на уровне физиологических, так и молекулярно-генетических процессов. У *C₃* галофита *Chenopodium quinoa* Willd. изучали накопление транскриптов генов *rbcL* и *RbcS* кодирующих субъединицы основного фотосинтетического фермента Рубиско, генов, кодирующих компоненты фотосистемы I (*psaA* и *psaB*) и фотосистемы II (*psbA*), а также хлорофил *a/b*-связывающий белок ФС II (*LHCB*), ферредоксины I и II (*FDI* и *FDII*) и ферредоксин-НАДФ⁺-редуктаза (*FNR1*) при кратковременном действии повышенной температуры (eT, 30°C), засухи ($\psi_s = -0.3$ МПа) и умеренного засоления (300 мМ NaCl).

Экспрессия *rbcL* и *RbcS* оказалась наиболее чувствительной к действию засухи (2–4-кратное снижение). Совместное действие засухи и eT, а также засоления и eT вызвало снижение экспрессии *rbcL*, что, вероятно, связано с доминирующим действием осмотической компоненты. Экспрессия *psaA* и *psaB* была устойчива к индивидуальному действию факторов, и снижалась только при совместном действии засухи и eT. Экспрессия *psbA* также была устойчива к индивидуальному действию факторов, но снижалась при совместном действии eT и засоления. Повышенная температура усиливала экспрессию *LHCB*, но только при индивидуальном действии. В сочинении с засухой или засолением данного эффекта не наблюдалось. Подобный эффект наблюдался и по экспрессии *FDI* (участник линейного транспорта электронов). При этом экспрессия *FDII* (участник циклического транспорта электронов) была устойчива ко всем вариантам воздействия. Экспрессия *FNR1* (участник последнего этапа линейного транспорта электронов) активировалась засолением и его совместным действием с eT. Таким образом, к осмотическому стрессу чувствительными оказались гены основного фотосинтетического фермента Рубиско. Индивидуальное действие повышенной температуры не оказывало негативного действия на экспрессию фотосинтетических генов *C. quinoa*. Однако в сочетании с засухой или засолением, наблюдался либо доминирующий эффект второго фактора (*rbcL* и *FNR1*), либо синергетический эффект (*psaA*, *psaB* и *psbA*).

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700044–6).

EXPRESSION OF PHOTOSYNTHETIC GENES IN *CHENOPODIUM QUINOA* UNDER SHORT-TERM ABIOTIC STRESSES

Shuiskaya E.V.*¹, Rakhmankulova Z.F., Saidova L.T., Anisina A.A., Prokofieva M.Yu.

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

Keywords: Rubisco, photosystems I and II, electron transport.

ПАРАМЕТРЫ БЫСТРОЙ И ЗАМЕДЛЕННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ И Р700 ЛИСТЬЕВ ДЕРЕВЬЕВ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

Яковлева О.В.¹, Тодоренко Д.А.¹, Алексеев А.А.², Протопопов Ф.Ф.², Маторин Д.Н.¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”, Москва, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова”, Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

*e-mail: ooolga.yakovleva@gmail.com

Ключевые слова: фотосинтез, растения, флуоресценция хлорофилла

Известно, что фотосинтетический аппарат растений чрезвычайно чувствителен к воздействию экологических факторов, в том числе и антропогенных. Нарушения в функционировании фотосинтетического аппарата могут быть выявлены с помощью различных методов регистрации флуоресценции хлорофилла. Флуоресценцию хлорофилла *a* и кинетику отражения при 820 нм регистрировали с помощью многофункционального анализатора растений М-РЕА-2 (Hansatech Instruments Ltd., Великобритания). Индукционные кривые быстрой флуоресценции (OJIP-кривые) анализировали с помощью JIP-теста. Исследовали фотосинтетические характеристики листьев липы (*Tilia cordata* L.) и березы (*Betula verrukosa* L.), растущих вблизи городских магистралей г. Москвы (МКАД, Московская кольцевая автодорога) с помощью одновременной регистрации индукционных кривых флуоресценции хлорофилла и редокс-состояния пигмента ФС I — Р700. У деревьев, растущих близ магистралей выявлено ухудшение электронного транспорта на уровне пластохинонов (δ_{R_o}) и снижение скорости восстановления Р700⁺, несмотря на достаточно высокие показатели фотосинтетической эффективности (F_v/F_m). У листьев березы, растущих вдоль МКАД, выявлено снижение оттока электронов от ФС I и уменьшение интенсивности замедленной флуоресценции при 30 мс и 1 с, связанной со снижением электрической и химической составляющих электрохимического градиента протонов на фотосинтетических мембранах. У растений около автомобильных магистралей отмечено повышение степени фотоингибирования и замедление реакций восстановления фотосинтетической активности в темноте после прекращения фотоокислительного стресса, что подтверждает вероятное влияние неблагоприятных городских условий на биосинтез белков реакционных центров ФС II. В качестве индикаторов состояния деревьев в городской среде предложены следующие параметры флуоресценции: общий индекс производительности (PI_{total}) и квантовый выход восстановления акцепторов электрона на акцепторной стороне ФС I (φ_{R_o}).

PARAMETERS OF FAST AND DELAYED FLUORESCENCE AND P700 OF TREE LEAVES IN URBAN CONDITIONS

Yakovleva O.V.¹, Todorenko D.A.¹, Alekseev A.A.², Protopopov F.F.², Matorin D.N.¹

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lomonosov Moscow State University”, Moscow, Russia

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov”, Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia

Keywords: photosynthesis, plants, chlorophyll fluorescence

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ОЗИМОЙ РЖИ К НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРАМ

Яковлева О.С., Осипова Л.В., Быковская И.А.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»)
г. Москва, Россия

*e-mail: olga.i4kovl@yandex.ru

Ключевые слова: адаптация, низкие температура, рожь, проницаемость мембран, фенолы.

Низкие температуры являются одним из важнейших стрессовых факторов для озимых культур. В качестве объекта исследования была выбрана озимая рожь сорта Таловская 41. Растения, выращенные при температуре +21°C до 4–14 суток, подвергались воздействию низких температур (+5°C).

Низкие температуры любой продолжительности замедляли ростовые процессы. Так выращивание при нормальной температуре до 7 суток и помещенных затем в условия холодового стресса к 14-ым суткам отставали от контроля больше, чем в 2 раза. Но и кратковременное помещение проростков на 1 сутки в холод приводило к снижению роста наземной части на 25–30%. При этом холодовой стресс способствовал накоплению фенольных соединений в проростках ржи, которые, по-видимому, имели в основном ингибиторную природу. Даже шесть дней репарации не приводили содержание фенолов к норме. Наибольшее содержание антоцианов наблюдалось в контролльном варианте. Растения подвергшиеся и подвергающиеся воздействию холодом имели примерно одинаковое их содержание (на 12–14% ниже контроля).

Важнейшую роль в устойчивости растений к стрессовому воздействию играет стабильность мембранныго комплекса. При повреждении плазмолеммы происходит увеличении экзосмоса веществ из клеток растения. Мембранные клеток колеоптилей озимой ржи мало повреждаются под действием низкой температуры. В первые полчаса воздействия низких температур происходит даже снижение экзосмоса примерно в 2 раза. Промораживание колеоптилей при температуре -5°C в течение 30 минут не приводило к увеличению выхода электролитов. И только замораживание в течение 1 часа вызывало повреждение мембран. Коэффициент повреждения (КП) мембран был равен 0,39. При воздействии низкой положительной температуры даже в течение недели КП был не выше 0,04. Таким образом, мембранные колеоптили озимой ржи оказались высокоустойчивы к воздействию низких температур.

FEATURES OF WINTER RYE ADAPTATION TO LOW TEMPERATURES

Yakovleva O.S., Osipova L.V., Bykovskaya I.A.

Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov» (FGBNU «VNII Agrochemistry») Moscow, Russia

Keywords: adaptation, low temperature, rye, membrane permeability, phenols.

РОЛЬ ГИСТИДИНА И ГЛУТАМИНА В ИЗМЕНЕНИИ МЕДЬ-СВЯЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КЛЕТОЧНЫХ СТЕНОК В ОТВЕТ НА ИЗБЫТОК ИОНОВ МЕДИ В СРЕДЕ

Никушин О.В.*[,] Мейчик Н.Р., Кушунина М.А., Николаева Ю.И.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», Москва, Россия.

*E-mail: nikushin.94@mail.ru

Ключевые слова: Клеточные стенки, Медь-связывающая способность, гистидин, глутамин, лиганды.

Клеточные стенки (КС), являющиеся частью апопласта — это сложноорганизованная и многофункциональная структура. Они первыми контактируют с наружным раствором и модифицируют его состав за счет реакций обмена между ионогенными группами полимерного матрикса КС и ионами среды, тем самым регулируя поступление веществ в корни растений. Для металлофитов преимущественное связывание тяжелых металлов (ТМ) с карбоксильными группами галактуроновых кислот КС предотвращает проникновение токсичных ионов в цитозоль, что обеспечивает адаптацию к их воздействию. Дополнительным механизмом защиты растений является выделение корнями лигандов (цитрат, малат, аминокислоты и пр.), связывающих металлы в почвенном растворе. В приведенной работе нами была исследована роль гистидина и глутамина в модификации медь-связывающей способности клеточных стенок корней и побегов.

Проведенное исследование показало, что состав среды инкубации интактных растений оказывает значительное влияние на ионообменную способность клеточных стенок. Обработка растений растворами CuCl_2 в концентрации 10 мкМ или 50 мкМ без добавления лигандов способствовала увеличению массовой доли КС, а при 100 мкМ меди — дополнительной лигнификации и снижению медь-связывающей способности. Рост массовой доли КС позволяет депонировать больше ионов меди в апопласте, что снижает их токсичность для растения, лигнификация КС при максимальной концентрации меди препятствует поглощению и транспорту металла. Внесение лигандов в среду инкубации приводит, с одной стороны, к снижению Си-связывающей способности изолированных КС, с другой стороны, к ограничению поступления ионов меди в корни интактных растений. Одновременно этот результат указывает на то, что основной стратегией защиты растений вики от избытка Cu^{2+} в среде является депонирование металла в клеточных стенах корней. Кроме того, полученные результаты показывают, что медь-связывающая способность клеточных стенок в составе интактного корня не реализуется в полной мере.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания в МГУ имени М.В. Ломоносова.

THE ROLE OF HISTIDINE AND GLUTAMINE IN CHANGING THE COPPER-BINDING CAPACITY OF CELL WALLS IN RESPONSE TO EXCESS OF COPPER IONS IN THE MEDIUM

Nikushin O.V., Meichik N.R., Kushunina M.A., Nikolaeva Yu.I.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Keywords: Cell walls, Copper-binding capacity, histidine, glutamine, ligands.

THE ROLE OF MELANINS IN HEAVY METAL TOLERANCE IN LICHENS

Beckett R.P.*¹, Daminova A.G., Galeeva, E.I., Minibayeva F.V.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, FRC Kazan Scientific Center of RAS, 2/31, Lobachevsky Str., Kazan 420111, Russia

*Email: rpbeckett@gmail.com

Keywords: lichens, melanins, heavy metals, stress, photosynthesis

Many species of lichenized ascomycetes are capable of synthesizing darkly colored melanin pigments by polymerizing phenolic compounds. In general, melanic lichens seem to be more common in environments with high levels of abiotic stress such as polar and montane regions, but they are by no means restricted to these habitats. Good evidence exists that melanins protect the mycobiont from high ultraviolet light, and the photobiont against visible light. However, given their many unique properties, it seems likely that melanins are involved in the tolerance of lichens to other stresses. Here, we discuss the possible role of melanins in heavy metal tolerance in lichens. In free-living fungi, several studies have shown melanins can protect from heavy metal toxicity. This is probably because melanins possess high binding capacity for many different metal ions due to the abundant carboxyl, amine, and hydroxyl functional groups of the pigment. However, there are very few studies on lichenized ascomycetes, although X-ray element mapping has provided evidence that melanins and high metal concentrations occur in the same regions of the thallus. Direct evidence that melanins can protect lichens from heavy metal toxicity is lacking. Here we present new data indicating that melanised thalli have greater tolerance to metal toxicity than non-melanised. It seems likely that in addition to their more well-established roles in protection against high light, melanins are involved in the tolerance of lichens to other stresses.

Acknowledgments: This work was partially performed within the framework of the state assignment of the FRC KazSC RAS and supported by the Russian Science Foundation, grant number 25-14-00152.

СУТОЧНАЯ ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ В ТКАНЯХ *PICEA OBOVATA* НА ТЕРРИТОРИИ КРИОЛИТОЗОНЫ

Местникова А.А.^{1*}, Слепцов И.В.¹, Рожина С.М.¹, Михайлов В.В.¹

¹ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: manyawkaye@gmail.com

Ключевые слова: *Picea obovata*, метаболиты, суточная динамика, метаболомный анализ, криолитозона

Исследована суточная динамика накопления первичных и вторичных метаболитов в хвое и на ветках ели сибирской (*Picea obovata*). Хвойные деревья, такие как *Picea obovata*, играют важную роль в экосистемах, особенно в условиях, когда климатические изменения становятся все более заметными. Сырьем для исследования служили ветки и хвоя *Picea obovata*, собранные на территории Ботанического сада ИБПК СО РАН в г. Якутске. По результатам метаболомного анализа установлено, что содержание первичных и вторичных метаболитов в тканях *Picea obovata* в течение суток изменяется незначительно. Первичные метаболиты, такие как углеводы и аминокислоты, играют жизненно важную роль в процессах метаболизма растений. Наблюдается увеличение концентрации аминокислот, таких как аланин и глицин, в вечерние часы, что, возможно, связано с процессами аксимиляции и синтеза белков. Также отмечено увеличение концентрации глюкозы и фруктозы с пиком накопления в утренние часы. Это совпадает с периодом активной фотосинтетической деятельности, что может свидетельствовать о накоплении запасов для ночного дыхания. Вторичные метаболиты, такие как флавоноиды и терпены, выполняют защитную функцию. Их концентрация достигает максимума в вечерние часы, что может быть связано с защитой от ультрафиолетового излучения и патогенов. *Picea obovata* представляет собой ценный вид, хорошо адаптированный к условиям криолитозоны. Данное исследование позволяет расширить имеющиеся знания в области изучения биохимической адаптации, физиологии и устойчивости древесных растений, произрастающих в условиях криолитозоны.

DAILY DYNAMICS OF ACCUMULATION OF PRIMARY AND SECONDARY METABOLITES IN *PICEA OBOVATA* TISSUES IN THE CRYOLITHOZONE

Mestnikova A.A.^{1*}, Sleptsov I.V.¹, Rozhina S.M.¹, Mikhailov V.V.¹

¹ Institute for Biological Problems of the Cryolithozone Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Keywords: *Picea obovata*, metabolites, daily dynamics, metabolomic analysis, Cryolithozone

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ ЛУКА РЕПЧАТОГО НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ОСНОВНЫЕ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ

Середин Т.М.^{1*}, Н.М.Ниматулаев², Марчева М.М.¹, Карев Д.А.¹,
Молчанова А.В.¹, Баранова Е.В.¹, Ушакова О.В.¹

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», г. Москва, Российская Федерация

²ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан»,
г. Махачкала, Российская Федерация

*e-mail: timofey-seredin@rambler.ru

Ключевые слова: лук репчатый, эколого-географические условия выращивания

Эколого-географическое испытание в условиях вегетации 2024 года в Ненецком автономном округе (город Нарьян-Мар) проходил сорт лука репчатого Ледокол (в яровой культуре). Нами был рассмотрен материал как луковиц, так и листовой массы по основным биохимическим показателям: сухое вещество, аскорбиновая кислота, нитраты и суммарное содержание антиоксидантов.

Анализируя полученные результаты, необходимо отметить, что по содержанию в луковицах и в листовой массе основных биохимических компонентов особый интерес вызвало накопление сухого вещества (23,55 и 22,03 мг% соответственно). Из литературных данных известно, что в среднем, в луковицах лука репчатого содержится от 12 до 21% сухого вещества. По содержанию в луке репчатом аскорбиновой кислоты максимальное накопление было отмечено в листовой массе изучаемого сорта Ледокол. В луковицах витамина С было отмечено в 2,1 раза меньше, чем в листьях. Такая же тенденция была отмечена и по суммарному содержанию антиоксидантов.

Также нами были изучены фотосинтетические пигменты (хлорофилл a, b, сумма хлорофиллов и каротиноиды) в зелёной массе лука репчатого сорта Ледокол. Полученные данные были нами представлены в четырехкратной повторности. Показано, что содержание хлорофилла a внутри сорта различается и варьирует от 0,27 до 0,52 мг/г. По аккумулированию хлорофилла b необходимо отметить, что менее выражены внутрисортовые различия лука репчатого Ледокол. Каротиноидный состав зелёных листьев лука репчатого сорта Ледокол нами был отмечен от 0,13 до 0,23 мг/г.

Подводя итог необходимо отметить, что создаваемый сорт лука репчатого Ледокол для южной зоны Российской Федерации является пластичным и подходит для выращивания в условиях Ненецкого автономного округа, а именно для зоны за Полярным кругом.

INFLUENCE OF ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF GROWING ONIONS ON BIOCHEMICAL INDICATORS AND MAIN ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS

Seredin T.M.¹, N.M.Nimatulaev², Marcheva M.M.¹, Karev D.A.¹,
Molchanova A.V.¹, Baranova E.V.¹, Ushakova O.V.¹

¹Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Moscow, Russian Federation

²Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russian Federation

Key words: onions, ecological and geographical growing conditions

Секция 3

ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРОИЗРАСТАНИЯ РАСТЕНИЙ

EVIDENCE OF NOX EMISSIONS FROM LAKES ON THE TIBETAN PLATEAU: A NEW REACTIVE NITROGEN SOURCE?

Ying Shen ^{a,b}, Yinghong Wang ^a, Mengtian Cheng ^a,

^a State Key Laboratory of Atmospheric Environment and Extreme Meteorology, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

^b University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

*Corresponding author.

E-mail: tqg@dq.cern.ac.cn.

Amid accelerating climate change, recent observations have revealed a surprising phenomenon on the Tibetan Plateau: the emission of nitrogen oxides (NOx) from lakes. This previously unrecognized source of reactive nitrogen may significantly influence atmospheric chemistry over this high-altitude region. In this study, we present evidence from both satellite remote sensing and ground-based measurements confirming the presence of NOx emissions from Tibetan lakes. Although the exact processes remain uncertain, we hypothesize that microbial nitrification and denitrification under specific redox conditions, photochemical reactions at the air — water interface, and the decomposition of permafrost-derived organic nitrogen may all contribute to the observed NOx release. Our findings highlight the urgent need for further interdisciplinary research to uncover the mechanisms driving aquatic NOx emissions and to assess their broader implications for atmospheric chemistry and climate — especially in the context of ongoing global warming and the rapid environmental changes unfolding on the Tibetan Plateau.

RESEARCH ON THE CHARACTERISTICS OF OXYGENATED VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS(OVOCs) IN BEIJING AND LHASA BASED ON LONG-TERM OBSERVATION

Yang Zhang ^{a,b}, Guiqian Tang ^{a,b*}, Yinghong Wang ^{a,b}, Mengtian Cheng ^{a,b}

^a State Key Laboratory of Atmospheric Environment and Extreme Meteorology, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

^b CountryUniversity of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 101408, China

*Corresponding author.

*E-mail: tgq@dq.cern.ac.cn

Atmospheric oxygenated volatile organic compounds (OVOCs) are an important component of volatile organic compounds (VOCs). Among OVOCs, aldehydes and ketones, due to their carbonyl functional groups, have much higher reactivity than other oxygenated substances and play a significant role in the formation of ozone through photochemical reactions and organic components of particulate matter, atmospheric oxidation capacity and radical chemistry. Some OVOC species, particularly formaldehyde and acetaldehyde, also have pathogenic and carcinogenic effects. Studying the pollution characteristics and sources of OVOCs in the atmosphere is of great significance. However, environmental differences in various regions may lead to significant differences in the reaction pathways and formation sources of OVOCs. For instance, in the Qinghai-Tibet region, which features strong surface solar radiation, high altitude, low latitude, and large snow-covered areas, the concentration of OH radicals and photochemical conditions are significantly different from those in other regions. Understanding the long-term variation characteristics of OVOCs in regions with large environmental differences will provide new ideas for clarifying the sources of OVOCs and controlling photochemical pollution.

Based on this, we selected the typical city, Beijing and Lhasa, and conducted long-term OVOCs observations from February 15, 2022 to January 7, 2025 and from January 25, 2024 to January 5, 2025 respectively. According to the US EPA TO11A standard method, 2,4-dinitrophenylhydrazine (DNPH) was used for sampling, and high-performance liquid chromatography (HPLC, 1260 Infinity III, Agilent, US) was used for analysis. A total of 551 (Beijing) and 197 (Lhasa) valid samples were obtained during this period. In combination with the research findings of other scholars, from 2004 to 2024, formaldehyde, acetaldehyde, and acetone in the atmosphere of Beijing decreased at a rate of 0.33, 0.22, and 0.32 (ppbv·y⁻¹) respectively. Since the implementation of the “Air Pollution Prevention and Control Action Plan” (“Air Ten”), the emission control of VOCs has significantly reduced the concentration of OVOCs. Comparing the OVOCs results of Lhasa and Beijing in the same year, the annual average concentration level of Lhasa (7.75 ± 4.57 ppbv) is comparable to that of Beijing (9.42 ± 4.65 ppbv), and both are mainly composed of formaldehyde, acetaldehyde, and acetone. From the perspective of diurnal variation, 45.95% of the OVOCs peaks in Lhasa occurred at night (20:00–23:00) during the observation period, which is different from Beijing where the OVOCs peaks occur at noon due to the strong influence of photochemical reactions. The differences in OVOCs characteristics in different reaction environments require further study.

Keywords: Long-term observation, Oxygenated volatile organic compounds (OVOCs), DNPH-HPLC, Source apportionment

Acknowledgments: We would like to thank and acknowledge all of our study participants for their help in data acquisition and other aspects.

УДК. 633.35.632.15

ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ СОРГО В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА

Сатторов Б.Н.¹, Партоев К.¹, Кубарев Е.Н.², Кибальник О.П.³

¹Институт ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана
E-mail: baccsa6600@mail.ru; pkurbanali@mail.ru

²Московский государственный университете имени М.В.Ломоносова
E-mail: kubarevmsu@mail.ru

³ФГБНУ РосНИИСК «Россортого»
E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Ключевые слова: сорго, сорт, продуктивность, Таджикистан

Сорго (*Sorghum Moench (Pers.)*), как сельскохозяйственная культура, была известна за 3 тыс. лет до н. э. в Индии и Китае, за 2,5 тыс. лет до н. э. в Средней Азии. В Россию сорго было завезено в XVII веке. Сорго распространено во многих странах мира. В Индии площадь посевов составляет 16 млн га, в США — 5,7 млн га, в Африке — 15,4 млн га. Большие посевные площади имеются в странах Ближнего Востока, Китае, в Румынии, Болгарии, Венгрии, Италии, Австралии, Южной Америке, Японии. Зерно пленчатое или голое, без бороздки, округлой яйцевидной формы, в колосковых и цветковых чешуях. Окраска — белая, коричневая, желтая, бурая. Масса 1000 зерен 14–45 г. В одной метелке может содержаться от 1500 до 3500 зерен. Учитывая эти ценные качества сорго нами изучены особенности роста и продуктивности ряда сортов этой важной сельскохозяйственной культуры в условиях Гиссарской долины Таджикистана.

Цель исследований: изучение сортов сахарного сорго селекции ФГБНУ НИИСК «Россортого», как исходного селекционного материала для повышения эффективности функционирования агропродовольственных систем Евразийского региона (Таджикистан). Полевые опыты были проведены в восточной части города Душанбе (экспериментальный участок Института ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана, расположенного на высоте 840 м над уровнем моря).

Как показали наши наблюдения среднемесячная температура воздуха в период вегетации сортов сорго в условиях опыта составила 17,5 °C, сумма эффективных температур — 2567 °C и количество осадков 180 мм, что были весьма оптимальными для роста и развития сортов сорго в условиях опыта. Почвы, где проведены наши исследования (экспериментальный участок Института ботаники, физиологии и генетики растений НАНТ, города Душанбе) относятся к типу типичного серозема. Посев семян проведено вручную. Длина делянки составила 3 м². Повторность четырехкратная. Посевы сортов сорго были проведены в два срока — весенний (17 апреля) и летний (15 июля). Во время вегетации наметили следующие фазы развития растений: всходов, образование соцветия (метелки), цветение, малочной, восковой и полной спелости зерно сортов сорго. Уборка урожая на весенних посевах провели 15 сентября, а на летнего — 15 ноября. Схема посева была 60 x 10 см (на гектар примерно 167 тыс. растений). Перед посевом в рядках вносили аммиачной селитры + нитроаммофоски, из расчёта 20 кг+40 кг/га (в д. в.). Глубина заделки семян сортов сорго составила 1,5–2,0 см. Сорта сорго были посажены в отдельных делянках в четырехкратной повторности. После проведения посевов провели вспомогательный полив, чтобы получить всходов. В течение вегетации поливали растения 8 раз, с расходом поливной воды за вегетацию примерно 2,3 тыс. м³/га. За вегетацию провели два раза рыхления междуурядий (вручную). Для учета урожайности с каждой делянки брали по 3 растения, всего 12 растений с каждого сорта. С каждого

сорта сорго брали образцы для высушивания органов растений и определяли сухую массу растений из всех сортов сорго. Статистическую обработку данных провели по Доспехову В.А. Установлено, что высота растений этого сорта на 02.12.2022 г. от повторного отрастания в среднем составило и достигла 207 см, формируется хорошая биологическая масса.

Исследования показали, что при проведении укоса надземной части 15 июля 2022 г. растений сорта сорго Шахерезада до конца вегетации (в начале декабря) отрастают и обеспечивают получению почти одинаковую зеленную массу в сравнении с вариантом без проведения укоса растений среди летом.

Таким образом, в условиях Гиссарской долины Таджикистана благодаря суммы эффективных температур можно получить два укоса сорго сорта Шахерезада. При этом от второго отрастания растений можно получить полноценные семена сорго, что представляет большой интерес в будущем для увеличения выхода зеленой массы и выращивания качественных семян сорго. Этот предварительный опыт показывает возможность получения два урожая зеленой массы и один урожай семян (формирования генеративной части растений- метелки). Наряду с этим следует отметить, что нами были проведены посевы этих сортов сорго еще в летнее время (15 июля 2022 г.). Летные посевы сортов сорго нами проведены совместно с фасолью. В конце вегетации получен хороший урожай сортов сорго от летнего посева и урожай фасоли (таблица).

Таблица. Характеристики признаков сортов сорго от летнего срока посева

Название образцов	Высота растений, см	Масса стебля и листьев, т\га	Масса корней, т/га	Масса семян, т/га	Общая биомасса, т/га
Изольда	200	33,40	3,34	1,67	38,41
Шахерезада	172	28,72	5,85	1,67	26,72
Волжское -51	181	30,23	3,34	2,51	25,05
Севилья	171	28,56	3,34	1,67	17,54
Средняя	181	30,23	3,97	1,88	26,93
HCP05	7,25	1,21	0,63	0,21	5,22

По высоте растений сорт Изольда при летнем сроке посева превышает других сортов сорго на 19–29 см. Этот сорт также имеет высокий показатель по сравнению с другими сортами сорго по признаку массы стебля и листьев (на 3–5 т/га). Сравнительно высокий показатель наблюдается у сорта Шахерезада по признаку массы корней (5,85 против 3,34 т/га у других сортов сорго). По признаку выхода семян с гектара высокий показатель наблюдается у сорта Волжское –51, а по признаку общей биомассы высокий показатель наблюдается у сорта Изольда (38,41 т/га), что в два раза больше, чем у сорта Севилья.

Таким образом, можно отметить, что при летнем сроке посева семян сорт сорго Изольда по массе стеблей и листьев и общей биомассы существенно превышает других сортов сорго.

Следует отметить, что при совместном посеве сортов сорго с фасолью наблюдается хорошее переплетения стебля фасоли на стеблях всех сортов сорго. Наши расчёты показали, что при таком совмещенном посеве, кроме получения хорошего урожая зеленой массы сорго можно по-

лучать до 800 кг/га семян фасоли (при наличии 16 тыс. растений фасоли на один га \times 50 г урожая зерна с растением). С другой стороны, при таком совмещенном посеве посредством азотобактерии, проживающих в корнях фасоли обогащается почвы, а питательность кормовой массы растений улучшается.

Выводы

1. В условиях Таджикистана изученные сорта сорго (Изольда, Севилья, Шахерезада и Волжское-51) хорошо растут и в зависимости от их генетической особенности имеют разные показатели по морфологическим и хозяйственным ценным признакам.
2. При весеннем сроке посева сорт сорго Севилья имеет наиболее короткий период вегетации (106 дней) по сравнению с другими сортами сорго (на 2–8 дней).
3. При весеннем сроке посева семян сорт сорго Волжское-51 по массе стеблей и листьев, урожайности семян и общей биологической массы значительно превышает других сортов сорго.
4. Сорт сорго Шахерезада обеспечивает получению хорошую урожайность зеленой массы и семян при его укосе в середине лета от второго отрастания растений.
5. При летнем сроке посева сортов сорго в период июль–ноябрь все сорта сорго хорошо растут и развиваются, и обеспечивают получению полноценного урожая зеленой массы и зерна к концу осенью.
6. Совмещенный посев сортов сорго с фасолью летом улучшают кормовую ценность зеленой массы, повышают плодородию почвы и способствует получению до 800 кг/га урожая фасоли.

PRODUCTIVITY OF SORGHUM VARIETIES IN CONDITIONS OF TAJIKISTAN

Sattorov B.N.¹, Partoev K.¹, Kubarev E.N.², Kibalnik O.P.³

¹ Institute of Botany, Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Tajikistan

² Lomonosov Moscow State University

³FGBNU RosNIISK Rossorgo.

Keywords: sorghum, variety, productivity, Tajikistan.

УРОЖАЙНОСТЬ НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ЧЕЧЕВИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ

Суторова Г.Н., Иконников А.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», Орел, Россия
E-mail: galina@vniizbk.ru

Ключевые слова: чечевица, сорт, урожайность, гидротермический коэффициент

Чечевица *Lens culinaris* Medik. является ценной бобовой культурой с высокой питательной ценностью зерна и низкой урожайностью, которая по данным FAOSTAT в 2023 году в мире составила 1,20 т/га.

Нами были проанализированы 5 сортов чечевицы (Аида, Рауза, 3 селекционные линии) за 4 года конкурсного испытания в условиях Орловской области в 2021–2024 годах. Урожайность зерна в среднем по годам варьировала от 1,55 до 3,13 т/га, по сортам — от 1,91 (сорт Аида) до 2,14 (линия 6/19) т/га. Дисперсионный анализ на данном наборе сортов показал 70% влияние фактора условий года на показатель урожайности.

Вегетационный период чечевицы в 2023 и 2024 годах продолжался с начала мая до конца июля. В 2023 году получена минимальная урожайность 1,55 т/га, которую можно объяснить холодной и засушливой погодой первого месяца вегетации. В мае выпало 16,8 мм осадков (35% нормы), гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,29. В 2024 году показатель урожайности был на максимальном уровне 3,13 т/га. В мае этого года выпало 65,9 мм осадков (137,3%) и ГТК составил 1,86. В 2024 году чечевица весь вегетационный период развивалась в оптимальных условиях обеспеченности теплом и влагой, в результате чего сформировался высокий урожай зерна. В 2021 и 2022 годах всходы появились в конце мая. Начальные этапы развития растений пришлись на июнь, который в 2021 году был сильно засушливым (ГТК=0,49) и в 2022 году засушливым (ГТК=0,92). Урожайность в эти годы была на уровне 1,62 и 1,72 т/га соответственно.

Изученные сорта по-разному реагировали на изменение погодных условий года. Коэффициент регрессии показателя урожайности на условия среды менялся от 0,6 (линия 10/16) до 1,3 (Рауза). Максимальная урожайность 3,51 т/га получена в 2024 году у линии Р6/19, с коэффициентом регрессии 1,12.

Результаты показали, что важным фактором в формировании урожайности зерна чечевицы являлась достаточная влагообеспеченность на начальных этапах развития растений от формирования всходов до цветения.

YIELD OF SOME VARIETIES OF LENTILS DEPENDING ON GROWING CONDITIONS

Suvorova G.N., Ikonnikov A.V.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Legumes and Cereal Crops», Orel, Russia

Keywords: lentils, variety, yield, hydrothermal coefficient

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ГОРОХА С РАЗЛИЧНЫМ МОРФОТИПОМ ЛИСТА

Соболева Г.В¹., Соболев А.Н².

¹ФГБНУ «ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР», Орел, Россия

²ФГБОУ ВО «ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И.С.ТУРГЕНЕВА», Орел, Россия
E-mail: alniksobolev@rambler.ru

Ключевые слова: горох, засухоустойчивость, морфотип

Горох — ведущая зернобобовая культура, широко возделываемая в различных регионах Российской Федерации, как ценный источник полноценного кормового и пищевого белка. Целенаправленная селекция на технологичность и повышение урожайности привела к кардинальной перестройке морфотипа растений гороха. Наиболее прорывным подходом стало изменение архитектоники листового аппарата. В настоящее время в Госреестре селекционных достижений преобладают безлисточковые (усатые) сорта. Принципиально новым направлением стало создание сортов с ярусной гетерофиллией — «хамелеон». В результате урожайный потенциал современных сортов гороха составляет 5–6 т/га. Однако, адаптивные свойства растений сортов интенсивного типа снижаются. Особую актуальность приобретают вопросы устойчивости сортов к засухе в связи с глобальными и локальными изменениями климата. Цель исследования заключалась в сравнительной оценке сортов гороха безлисточкового, листочкового и гетерофильного морфотипов по ряду физиологических показателей, характеризующих устойчивость к засухе.

Анализ данных показал, что на ранних этапах развития (при проращивании семян на растворах, имитирующих водный дефицит) наибольшей относительной засухоустойчивостью характеризовались сорта гетерофильного морфотипа. Индекс длины зародышевого корешка (ИДК) которых составил 57,6%, превысив листочковые генотипы на 4,3%. Наиболее чувствительными к моделируемой засухе оказались генотипы усатого морфотипа (ИДК=42,3%). Важным физиологическим показателем, отражающим реакцию вегетирующих растений на обезвоживание, служит водоудерживающая способность, определяемая по величине водоотдачи в процессе завядания. За 6 часов завядания растения листочковых сортов утрачивали в среднем 29,3% воды от исходного содержания, гетерофильных — 28,8%. Максимальной водоотдачей в ходе завядания отличались безлисточковые генотипы. Потери воды составили 32,0%. Листочковые и гетерофильные сорта характеризовались также большим накоплением сухого вещества растениями, что свидетельствует о более рациональном обмене веществ.

Таким образом, по комплексу физиологических показателей, характеризующих способность растений переносить обезвоживание сорта гетерофильного морфотипа более устойчивы к засухе.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF DROUGHT RESISTANCE OF PEA VARIETIES WITH DIFFERENT LEAF MORPHOTYPES

Soboleva G.V.¹., Sobolev A.N.².

¹Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Legumes and Cereal Crops», Orel, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State University named after I.S. TURGENEV», Orel, Russia

Keywords: pea, drought resistance, morphotype

СВЕТОВОЙ РЕЖИМ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СКРИНИГА ПРИ ФЕНОТИПИРОВАНИИ РАСТЕНИЙ

Тараканов И.Г.*, Анисимов А.А., Ларикова Ю.С.

ФГБОУ ВО Российской государственный аграрный университет — МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия

E-mail: plantphys@rgau-msha.ru

Ключевые слова: фенотипирование, светокультура, фотобиологические исследования, скрининг

Целью нашей работы является разработка высокопроизводительной системы феномного анализа растений для регистрации изменений их морфофизиологических характеристик и функциональной активности при выращивании в контролируемых условиях фитotronа с использованием разных анализирующих фонов (прежде всего по количеству — варьирование интеграла суточной радиации при разных сочетаниях фотопериода и плотности потока фотонов — и качеству поступающего к растениям оптического излучения). Эти исследования имеют как фундаментальное значение в связи с совершенствованием методологии фотобиологических исследований, так и прикладное для повышения эффективности скрининга селекционного материала.

Фенотипирование включает анализ структурных характеристик растений: габитус, морфометрические показатели, площадь листьев, удельная поверхность листьев и их спектральные характеристики и т. д. Важным элементом является регистрация функциональной активности генотипов на создаваемых градиентах факторов внешней среды или разных спектральных режимах светокультуры: интенсивность фотосинтеза и дыхания, интенсивность транспирации, устьичная проводимость, показатели переменной флуоресценции, изменения изотопного состава углерода биомассы в результате фотосинтеза и фотодыхания, целевые вторичные соединения и т. д. Расширенное фенотипирование также предполагает определение критической длины дня, длины ювенильного периода, уровня чувствительности к сумеречному свету и т. д.

Поскольку в разрабатываемой нами платформе ключевое значение отводится реакции растений на световые условия (трофическая и сигнальная составляющие) необходима разработка на основе фотобиологических исследований анализирующих фонов для скрининга популяций целевых культур. В ходе сравнительно-физиологического изучения механизмов фоторегуляции морфогенеза и продукционного процесса у разных морфобиотипов растений уже получены фундаментальные данные, а также материалы, необходимые для разработки протоколов световых режимов в системах скрининга селекционного материала и настройки режимов работы сканирующих устройств установки автоматического фенотипирования.

LIGHT MODE AS A SCREENING TOOL IN PHENOTYPING OF PLANTS

Tarakanov I.G., Anisimov A.A., Larikova Yu.S.

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

Keywords: phenotyping, light culture, photobiological research, screening

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ ПО ПРИЗНАКУ АЛЮМОУСТОЙЧИВОСТИ

Бакулина А.В., Бессолицына Е.А., Шуплецова О.Н.

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, Киров, Россия;
e-mail: mol-biol@fanc-sv.ru

Ключевые слова: ячмень, аллюмоустойчивость, ген *HvAACT1*

Основным геном, связанным с устойчивостью ячменя к алюминию, является ген *HvAACT1*, локализованный на хромосоме 4Н и кодирующий белок-транспортер цитрата. Уровень экспрессии *HvAACT1* конститутивно выше у устойчивых к алюминию генотипов, чем у чувствительных (Furukawa et al., 2007).

Объектом исследования служили девять генотипов *Hordeum vulgare* L.: российские сорта, характеризующиеся кислотоустойчивостью (Новичок, Дина, Форвард, Бионик, Витрум, Родник Прикамья), а также высокоурожайные сорта зарубежной селекции (Зазерский 85, Triumph, Tallon). Предварительно генотипы были исследованы на кислых почвенных фонах с алюминием и согласно биохимической оценке (содержание фенолов в тканях как показателя стрессированности растений) шесть российских сортов отнесли к аллюмоустойчивым, а три зарубежных — к аллюмочувствительным. В данной работе проводили ПЦР-анализ образцов ДНК генотипов с праймерами для детекции вставки 1023 п. н. (1kb-insertion) в 5» — UTR области *HvAACT1* (Fujii et al., 2012) и делеции 21 п. н. (*HvMATE-21indel*) в 3» — UTR области *HvAACT1* (Bian et al., 2013).

Установлено, что исследуемые сорта ячменя не имели мутации 1kb-insertion, усиливающей экспрессию гена *HvAACT1*. У всех образцов был получен ампликон размером 818 п. н. Мутация 1kb-insertion, выявленная у аллюмотолерантного сорта Murasaki-mochi (Fujii et al., 2012), встречается редко и описана преимущественно у генотипов *H. vulgare*, возделываемых в Восточной Азии. В основном сообщается о выявлении у аллюмотолерантных генотипов ячменя делеции *HvMATE-21indel*. Эта мутация (ПЦР-продукт 475 п. н.) обнаружена в геноме трёх аллюмоустойчивых сортов (Новичок, Бионик, Родник Прикамья). Однако у сортов Дина, Форвард, Витрум, также характеризующихся аллюмоустойчивостью, выявлен ампликон 495 п. н., совпадающий с таковым у чувствительных генотипов (Зазерский 85, Triumph, Tallon). Таким образом, исследованные в работе генотипы ячменя, по-видимому, имеют разные механизмы регуляции гена *HvAACT1*, что представляет интерес для дальнейшего изучения.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (темы: FNWE-2025-0001, FNWE-2025-0008).

GENOTYPIC DIFFERENCES OF BARLEY VARIETIES BY ALUMINUM RESISTANCE

Bakulina A.V., Bessolitsyna E.A., Shupletsova O.N.

N.V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Center of the North-East, Kirov, Russia;

Keywords: barley, aluminum resistance, *HvAACT1* gene

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ И ВОЗРАСТА ДЕРЕВЬЕВ НА ТРАНСПОРТ УГЛЕРОДА ПО ФЛОЭМЕ В КОРНЕВЫЕ СИСТЕМЫ И ПОЧВУ

Тарелкина Т.В.*, Серкова А.А., Галибина Н.А., Теслюк И.А.,
Софронова И.Н., Новицонок Е.В., Качанова Е.В., Семенова Л.И.

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

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

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

Проводящая флоэма ствола является основным путем поступления фотосинтатов в подземную часть деревьев, где они используются для обеспечение роста корней и привлечения симбиотических организмов. На уровне сообщества, флоэмный транспорт является одним из процессов, участвующих в биогенном круговороте углерода. Целью работы было оценить проводимость флоэмы у деревьев сосны разного возраста, а также у деревьев, произрастающих в различных климатических и почвенных условиях.

Были заложены пробные площади в Республике Карелия и Мурманской области в сняках разного возраста: 20–30 лет, 70–80 лет и 180–190 лет. На пробных площадях были подобраны модельные деревья, близкие по высоте и диаметру ствола к средним показателям для древостоя или превышающие их на 25–30%. С модельных деревьев в период камбимального роста отбирали образцы флоэмы. Лабораторные исследования вели с использованием общепринятых методов.

Проводимость флоэмы поддерживается на одном уровне у активно растущих сосен (25–80 лет), но увеличивается у старовозрастных деревьев (180–190 лет), что отражает возрастной сдвиг в донорно-акцепторных отношениях надземной и подземной частей деревьев. Деревья одной возрастной группы, произрастающие в разных климатических условиях, демонстрировали сходные значения проводимости флоэмы, что объясняется согласованными изменениями анатомии флоэмы и высоты дерева. Расчетные значения проводимости флоэмы достоверно различались для деревьев, произрастающих в разных типах лесорастительных условий. Корреляционный анализ показал зависимость между запасами азота в минеральном слое 0–30 см и долей углерода, транспортируемого в корневую систему/почву от зафиксированного в процессе фотосинтеза. При этом наиболее активно углерод транспортируется в корневые системы у деревьев сосны, произрастающих на более бедных почвах.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института леса КарНЦ РАН и важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пуль 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».

INFLUENCE OF GROWING CONDITIONS AND AGE OF TREES ON CARBON TRANSPORT ALONG THE PHLOEM INTO ROOT SYSTEMS AND SOIL

Tarelkina T.V., Serkova A.A., Galibina N.A., Teslyuk I.A., Sofronova I.N., Novichonok E.V., Kachanova E.V., Semenova L.I.

Forest Institute — a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science,
Federal Research Center «Karelian Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences», Petrozavodsk, Russian Federation

Keywords: phloem, sieve cells, hydraulic conductivity, phloem transport

ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА У РАСТЕНИЙ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ НА МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ОТХОДАХ ПРИМЕНITЕЛЬНО К ОРАНЖЕРЕЯМ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ ЭКОДОМОВ

Тихомиров А.А., Ушакова С.А., Величко В.В., Тихомирова Н.А., Трифонов С.В.

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск, Россия

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

Ключевые слова: *растения, оранжереи, отходы, светокультура,*

В настоящее время активно обсуждается необходимость создания северных экодомов, обеспечивающих минимизацию загрязнения окружающей среды. Ключевой частью таких экодомов является оранжерея с высшими растениями, работающая в режиме частичного замыкания по органическим отходам. Такое замыкание может быть достигнуто, если растения могут культивироваться на субстрате, приготовленном из минерализованных растительных отходов — почвоподобном субстрате (ППС). При этом за счет биологического окисления растительной биомассы в ППС создается минеральная основа для поливочных растворов. За счет физико-химической утилизации отходов жизнедеятельности человека в экодоме открываются дополнительные возможности приготовления питательных растворов для растений. Таким образом, становится возможным вовлечение отходов животного и растительного происхождения в циклический процесс, что весьма актуально для поддержания необходимого уровня экологических требований для окружающей среды.

В Институте биофизики СО РАН длительное время разрабатываются технологии замкнутых циклов для возврата в круговоротный процесс органических отходов. В докладе показано, как полученные результаты могут быть использованы для создания научных основ технологий культивирования высших растений в специальных оранжереях для экодомов. Культивирование растений в оранжереи экодома предполагается в условиях полной светокультуры в период полярной ночи. Для культивирования растений рассматриваются световые технологии, основанные, в том, числе, на применении диммируемых светодиодных облучателей. В докладе рассмотрены особенности формирования физиологических и производственных характеристик растений при выращивании на поливочных растворах, приготовленных при использовании минерализованных органических отходов. Анализируются проблемы возникающих диспропорций минеральных элементов в поливочных растворах. Обсуждаются потери в продуктивности растений при недостаточно сбалансированном минеральном питании поливочных растворов, пути преодоления этих проблем. Показаны характерные особенности формирования фотосинтетического аппарата растений, особенности их газообмена при выращивании с использованием органических отходов. Обосновываются перспективы применения рассматриваемых методов и подходов, основанных на частичном замыкании круговоротных процессов, для создания оранжерей в северных экодомах

Исследование выполнено в рамках государственных заданий FWES-2024-0039 и FWES-2024-0032 Министерства науки и высшего образования РФ.

OF THE PRODUCTION PROCESS IN PLANTS CULTIVATED ON MINERALIZED WASTE AS APPLIED TO GREENHOUSES FOR NORTHERN ECOHOUSES

Tikhomirov A.A., Ushakova S.A., Velichko V.V., Tikhomirova N.A., Trifonov S.V.

Institute of Biophysics FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

Keywords: *plants, greenhouses, waste, photoculture,*

ФОТОПЕРИОДИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ РУКОЛЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ СВЕТОКУЛЬТУРЫ

Фадеева Ю.Ю.* Тараканов И.Г.

ФГБОУ ВО Российской государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева,
Москва, Россия
E-mail: yulia.fadeewa2011@mail.ru

Ключевые слова: рукола, фотопериод, светокультура, фотопериодическая реакция.

Оптимизация фотосинтетической деятельности, контроль роста и развития, регуляция физиолого-биохимических процессов в растительном организме во многом зависят от фотопериодических условий выращивания растений. Исследование фотопериодической реакции растений руколы (*Eruca sativa* Mill) сортов Виктория и Рококо проводилось в условиях светокультуры с использованием светодиодных источников излучения на разных фотопериодах (ФП) 8, 12, 16 и 20 часов при одинаковой плотности потока фотонов равной 220 мкмоль/м²*с. Для проведения эксперимента использовали вегетационные камеры лаборатории искусственного климата РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

В контексте фотопериодической реакции рукола относится к растениям длинного дня, из чего следует, что при длине светового дня более 12–14 часов наступает переход растений от вегетативной фазы развития к генеративной, что является нежелательным эффектом при выращивании зелени. Полученные данные служат основой для разработки технологий интенсификации выращивания растений руколы в системах интенсивного культивирования.

По результатам биометрических измерений наиболее высокий показатель сухой биомассы зафиксирован на ФП 16 часов для сорта Виктория и на ФП 12 часов для сорта Рококо. Площадь листовой поверхности находится в прямо пропорциональной зависимости от биомассы растений. Был рассчитан показатель чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ), его максимальная величина отмечена у сорта Виктория на ФП 16 часов и у сорта Рококо на ФП 12 часов. При анализе газообмена на фотопериоде 20 ч наблюдали снижение интенсивности фотосинтеза почти в 2 раза по сравнению с фотопериодом 8 ч, а также самую высокую интенсивность дыхания. Максимальные значения интенсивности транспирации и устьичной проводимости у обоих сортов соответствовали фотопериоду 8 ч. При анализе содержания фотосинтетических пигментов в листьях руколы наиболее высокие показатели хлорофиллов *a* и *b* соответствовали фотопериодам 8 и 12 часов, на которых можно наблюдать адаптивную реакцию растений на недостаточный световой поток на начальном этапе онтогенеза. За период наблюдений 60 дней переход к репродуктивному периоду у обоих сортов на фотопериодах 8 и 12 часов зафиксирован не был.

Для обоих сортов руколы условия длинного дня (ФП 16 часов) наиболее благоприятны для накопления сухой биомассы за счет развития площади листовой поверхности и образования новых листьев на растении. Однако индукция цветения приводит к снижению продуктивности из-за перераспределения ассимилятов в сторону формирования генеративных органов. Оптимизация световых режимов позволяет повысить продуктивность руколы, что особенно важно для вертикальных ферм и других современных систем культивирования.

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

PHOTOPERIODIC RESPONSE OF RUCOLA PLANTS WHEN CULTIVATED UNDER LIGHT CULTURE CONDITIONS

Fadeeva Yu.Yu., Tarakanov I.G.

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

Keywords: rucola, photoperiod, light culture, photoperiodic response.

РЕАКЦИЯ ОБРАЗЦОВ ВИГНЫ (VIGNA UNGUICULATA) НА НИЗКУЮ ТЕМПЕРАТУРУ В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Фотев Ю.В.^{1,2*}, Ломако И.С.², Сунь Ц.³

¹ Центральный Сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

* E-mail: fotev_2009@mail.ru

Ключевые слова: вигна, *Vigna unguiculata*, низкая температура, прорастание семян, пыльца.

Вигна (*Vigna unguiculata* (L.) Walp., Fabaceae) — новая для России овощная культура тропического происхождения, лидирующая по коэффициенту востребованности (179) среди этой группы культур в нашей стране — отношению общего числа зарегистрированных сортов к количеству лет с года включения в «Госреестр селекционных достижений РФ» первого сорта (Фотев и др. 2021). Ее высокая теплотребовательность с оптимумом температуры для прорастания семян и роста молодых растений от 25 до 35 °C [Angelotti et al., 2020] препятствует расширению производства в регионах с континентальным климатом, включая юг Западной Сибири. Разработаны разные методы оценки и отбора более устойчивых к низкой температуре форм [Fotev et al., 2021], включая фазу зрелого мужского гаметофита *in vitro*.

Цель работы – оценка влияния низкой температуры на прорастание семян и пыльцы образцов вигны.

Для исследования, проведенного в 2021–2024 гг., использовали 20 образцов вигны (*V. unguiculata*) из коллекции генетических ресурсов ВИРа, «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» УНУ № USU 440534 Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, отечественные и зарубежные сорта. Семена закладывали в стеклянные чашки Петри на фильтровальной бумаге и в пластиковые кюветы h=2 см, наполненные почвенным субстратом, проращивая их при температуре 25°C (контроль), 10, 12 и 14°C. Пыльцу сеяли *in vitro* на среду с ПЭГ 6000 в режиме 6°C/24 ч *in vitro*, в контроле 25°C/3 ч.

Основные патогенными микромицетами на вигне на прорастающих семенах *Fusarium* sp. и *Aspergillus* sp. В результате исследования выделены образцы вигны с относительно высокими темпами начальных ростовых процессов при низкой температуре (Zinder, Нежная, Факир) и образцы с относительно меньшей пораженностью патогенными микромицетами (к-802, сорта Макаретти и Факир). Сорта, выделившиеся по устойчивости к патогенным микромицетам при оптимальной (25°C) температуре (Сибирский размер, Факир и Лилиана), не проявили такую же устойчивость при ступенчатом воздействии сначала низкой, затем оптимальной температурой (при холодовом тесте). Выявлена возможность отбора более холодостойких форм в фазе прорастания семян при температуре 14 и 12°C и пыльцы в режиме 6°C/24 ч *in vitro*.

REACTION OF VIGNA (VIGNA UNGUICULATA) SAMPLES TO LOW TEMPERATURE UNDER CONDITIONS OF INTRODUCTION IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

Fotev Yu.V.^{1,2}, Lomako I.S.², Sun Ts.³

¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Keywords: cowpea, *Vigna unguiculata*, low temperature, seed germination, pollen.

НАРУШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ КАМБИАЛЬНЫХ КЛЕТОК В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ РОСТА НА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЕ

Машуков Д.А., Бенькова А.В.

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН. 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: annie1977@yandex.ru, mashukov1988@gmail.com

Ключевые слова: лиственница Гмелина, мерзлота, суховершинность, радиальный рост

В северо-таежных древостоях из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), типичных для севера Средней Сибири, суховершинность — довольно распространенное, но слабо изученное явление. Вопросы о том, каковы причины усыхания верхушек у деревьев на многолетней мерзлоте до настоящего времени не получили ответа. Для выявления причин усыхания было проведено исследование клеточной структуры ксилемы в стволах суховершинных и здоровых деревьев лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.).

Исследования проводились в бассейне р. Нижняя Тунгуска, в среднем ее течении, на базе Эвенкийского опорного экспедиционного пункта Института леса СО РАН. В лиственничнике в глубине леса для ксилотомических исследований были взяты образцы: диски через каждый метр высоты ствола дерева и верхушки усыхающих и здоровых деревьев лиственницы Гмелина. Микрофотографии структуры радиального роста были получены с помощью установки компьютерного анализа изображений Axio Imager A1m (ZEISS Microscopy).

Ксилотомический анализ показал, что после 1960-х годов и до 2000-х проявляется фактор, который обуславливает формирование узких годичных колец. На микрофотографиях хорошо видна модификация структуры клеточной стенки: в годичных кольцах деревьев начинают формироваться поздние трахеиды с очень тонкими стенками, становится трудно, а иногда невозможно провести точную датировку годичных колец. Часто происходит нарушение рядности в расположении трахеид. Такие модификации выражены в верхней части ствола под верхушкой, и особенно явно на сухой верхушке.

Уменьшение скорости радиального роста может проявиться в результате действия фактора, нарушающего нормальный процесс дифференциации камбимальных клеток (нарушение «нормальной организации клеточной структуры ксилемы»). Это явление постепенно исчезает к основанию ствола. Нарушение дифференциации проявляется не только у суховершинных деревьев, но и у некоторых здоровых деревьев в один и тот же период времени. У суховершинных деревьев усыхание верхушек идет продолжительное время.

Работа выполнена в рамках базового проекта FWES-2024-0023

DISTURBANCE OF CAMBIAL CELL DIFFERENTIATION IN EXTREME GROWTH CONDITIONS ON PERMAFROST

Mashukov D.A., Benkova A.V.

Sukachev Institute of Forest SB RAS — separate division of FRC KSC
SB RAS. 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28

Keywords: Gmelin larch, permafrost, dieback, radial growth

УГЛЕКИСЛОТНЫЙ ГАЗООБМЕН ТИПИЧНЫХ ТУНДРОВЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Петров Р.Е.*, Карсанаев С.В., Максимов А.П., Максимов Т.Х.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: sakhafluxnet@gmail.com

Ключевые слова: изменение климата, углекислотный газообмен, фотосинтез, тундровые экосистемы, растения

Данные многолетнего мониторинга углекислотного обмена в тундровых экосистемах на станции «Чокурдах» (SakhaFluxNet), показывают высокую физиологическую активность растений в условиях короткого вегетационного периода. Валовая первичная продукция (GPP) составляет в среднем $210\text{--}220 \text{ г С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$, а экосистемное дыхание (Reco) — около $140 \text{ г С}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{год}^{-1}$. Чистый углеродный сток (NEE) оценивается в $0,75 \pm 0,14 \text{ г С}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$. Начало вегетации за период наблюдений смешилось на 14 дней раньше из-за более раннего схода снежного покрова.

Основной вклад в фиксацию углекислого газа вносят карликовые кустарники *Betula nana* и *Salix spp.*, обладающие высокой фотохимической активностью и адаптациями к резким температурным колебаниям. После весеннего таяния листовой аппарат быстро активизирует фотосинтетический путь, компенсируя ограниченную продолжительность сезона. По данным полевых измерений 2015 г., суточная ассимиляция углерода составляла $313,2\text{--}432,7 \text{ мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{день}^{-1}$ у *Salix nana subsp. exilis* и $213,8\text{--}403,9 \text{ мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{день}^{-1}$ у *Betula nana subsp. nana*, что хорошо укладывается в диапазон значений, полученных ранее (например, $194\text{--}463 \text{ мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{день}^{-1}$ в 2003–2005 гг.).

Кустарниковый ярус играет ключевую роль в формировании микроклимата, удержании снежного покрова и стабилизации теплового режима почвы. Экспериментальное удаление кустарников привело к снижению GPP более чем на 30%, увеличению глубины сезонного протаивания и росту почвенного дыхания, что трансформировало углеродный баланс из положительного в нейтральный или отрицательный. Таким образом, устойчивость тундровых экосистем напрямую зависит от физиологических механизмов тундровых растений, адаптированных к условиям криолитозоны, и требует систематического наблюдения на фоне современных климатических изменений.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России по проекту «Исследование биогеохимических циклов и адаптивных реакций растений бореальных и арктических экосистем северо-востока России», № гос. регистрации AAAA-A21-121012190034-2 и с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (грант № 13. ЦКП. 21.0016).

CARBON DIOXIDE GASES EXCHANGE IN TYPICAL TUNDRA ECOSYSTEMS OF THE NORTH-EAST OF RUSSIA

Petrov R.E., Karsanaev S.V., Maksimov A.P., Maksimov T.Kh.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: climate change, carbon dioxide gas exchange, photosynthesis, tundra ecosystems, plants

ОЦЕНКА ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ СИМБИОНТОВ ПЕРИСТЫХ МХОВ МЕТОДАМИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ МЕТАГЕНОМИКИ НА ПЛАТФОРМАХ 2-ГО И 3-ГО ПОКОЛЕНИЙ СЕКВЕНИРОВАНИЯ

Зайцев П.А.^{1*}, Родин В.А.², Зайцева А.А.¹, Зверева М.Э.², Лобакова Е.С.¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия

*E-mail: zaytsevpa@my.msu.ru

Ключевые слова: цианобактерии, перистые мхи, симбиоз, метагеномика, нанопоровое секвенирование

В экосистемах высокоширотных регионов с низким уровнем продуктивности, средообразующая роль диазотрофных гетероцитных цианобактерий, как свободноживущих, так и симбиотических (эндо- и эпифитных) имеет большое значение. В ходе ранее проведенного нами исследования методом 16S рРНК метабаркодинга на платформе 2-го поколения (NGS) определено таксономическое разнообразие эпифитных ассоциативных цианобактерий, населяющих поверхность мха *Hylocomium splendens*. Представители пор. *Nostocales* и *Tolyphaceales* доминировали на побегах последнего года прироста мха. Выявлено шесть представителей рода *Nostoc*, не определенных до вида, имеющих родство с цианобионтом саговниковых растений. Более точная идентификации цианобактерий возможна с применением технологии 3-го поколения — секвенирования длинных последовательностей гена 16S рРНК (~1500 п. о.) на платформе Oxford Nanopore (ONT). В данной работе проведено сравнительное метагеномное секвенирование на платформах NGS и ONT образцов побегов мхов *H. splendens* и *Pleurozium schreberi*, произрастающих на побережье Белого моря.

Побеги последнего года прироста мхов собраны в июле 2024 года в окрестностях ББС имени Н.А. Перцова. Для анализа использовались фрагменты, содержащие на поверхности цианобактерии, оценка которых проводилась методами световой микроскопии. Выделенную средовую (от англ. environmental) ДНК секвенировали методом NGS по вариабельному фрагменту V4 гена 16S рРНК (~250 п. о.) на платформе MiSeq Illumina и методом нанопорового секвенирования всего гена 16S рРНК (локус V1-V9) на платформе MinION непосредственно в полевой лаборатории на ББС.

С помощью технологии ONT на поверхности мха *H. splendens* были обнаружены цианобактерии пор. *Nostocales*, *Oscillatoriales* и *Chroococcales*. Среди *Nostocales* доминировали такие виды, как *Nostoc edaphicum*, *N. sphaeroides* и *N. piscinale*, а также не идентифицированные до вида симбионты лишайников, что значительно превышало разнообразие цианобактерий, выявленное методом NGS.

Работа выполнена при поддержке проекта НОШ МГУ 23-Ш04-45 и проекта РНФ 23-74-00037.

ASSESSMENT OF TAXONOMIC DIVERSITY OF CYANOBACTERIA SYMBIANTS OF PLEUROCARPOUS MOSSES BY COMPARATIVE 2ND AND 3RD GENERATION SEQUENCING METAGENOMICS

Zaytsev P.A.¹, Rodin V.A.², Zaytseva A.A.¹, Zvereva M.I.², Lobakova E.S.¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry, Moscow, Russia

Keywords: cyanobacteria, pleurocarpous mosses, symbiosis, metagenomics, nanopore sequencing

АНАЛИЗ МЕТАБОЛИТОВ В ЛИСТЬЯХ *SOLANUM LYCOPERSICUM L.* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТО-МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Мотылева С.М., Винокур М.В., Ямилева Э.М.

Онлайн-школа садоводов Strogoorganic, Москва, Россия
E-mail: motyleva_svetlana@mail.ru

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum L.*, leaves, gas chromatography and mass spectrometry

Томат (*Solanum lycopersicum L.*) — культура, имеющая высокую экономическую ценность. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные влиянию состава почвы на ростовые процессы и биохимический состав растений томатов, влияние присутствия или отсутствия дождевых червей в почве на рост и развитие растений томатов мало исследовано.

Определение профиля метаболитов широко используется для диагностики и понимания механизмов реакции и адаптации растений к широкому спектру стрессов или к изменениям условий выращивания.

Мы изучали влияние условий выращивания (с дождевыми червями и без них) на синтез первичных и вторичных метаболитов в листьях томата сорта Михневец.

Для оценки различий состава метаболитов листьев томатов был проведен нецелевой анализ спиртовых экстрактов листьев с использованием хроматографа GC-MS JMS — Q1050GC в сочетании с масс-спектрометрией. Для идентификации соединений в экстрактах листьев томата использовали программное обеспечение NovaSpec в сочетании с библиотечным алгоритмом поиска программы NIST 15.

Надежно идентифицировано было 49 метаболитов, из которых 29 являются углеводами и их производными. Двадцать метаболитов были идентифицированы как аминокислоты, жирные и органические кислоты. Углеводы являются незаменимыми соединениями, регулирующими многие жизненно важные биологические процессы в растениях. Липиды — сложные эфиры полиненасыщенных жирных кислот — регулируют механизмы развития растений и их адаптации к условиям окружающей среды.

Основные различия были обнаружены в содержании восьми углеводов и их производных (мальтоза, 2-о-маннобиаза, мио-инозит, 1,5-ангидроглюкозитол, арабинофураноза, метил-O-D-глюкофуранозид, метилгалактозид и аллофураноза), а также оксилипина, полиненасыщенной жирной линолевой кислоты (9,12-октадекановой кислоты).

При выращивании на субстратах с дождевыми червями в листьях томатов наблюдалось снижение количества этих метаболитов по сравнению с содержанием в листьях растений на субстрате без дождевых червей.

Установлено, что наличие или отсутствие дождевых червей в почве при выращивании томатов приводит к изменению содержания метаболитов.

Полученные данные подтверждают роль линолевой кислоты в сигнальных процессах, которые активируют защитные гены в листьях томатов в ответ на условия выращивания.

ANALYSIS OF METABOLITES IN *SOLANUM LYCOPERSICUM L.* LEAVES DEPENDING ON GROWING CONDITIONS BY GAS CHROMATOGRAPHY-MASS SPECTROMETRY

Motyleva S.M., Vinokur M.V., Yamileva E.M.

Online school of gardeners Strogoorganic, Moscow, Russia

Keywords: *Solanum lycopersicum L.*, leaves, gas chromatography and mass spectrometry

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СЕЛЕНОМ И КРЕМНИЕМ НА СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕГЕТАТИВНЫХ И ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНАХ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Осипова Л.В., Курносова Т.Л., Быковская И.А., Федорова Е.А.

ФГУП ВНИИ агрохимии им. Прянишникова, г. Москва, РФ

E-mail: legos4@yandex.ru

Ключевые слова: химический состав ярового ячменя

Яровой ячмень (*Hordeum vulgare L.*) сорта Надежный выращивали на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве по принятой в опытном хозяйстве ЦОС ВНИИА агротехнологии, предварительно обработав семена (ПОС) раствором селена (0,02%) и кремния (0,15%). Содержание кремния, селена, натрия и микроэлементов определяли в зерне, полое и соломе ячменя на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой iCAP 6300 DUO. Проведенные исследования показали, что предпосевная обработка семян приводила к повышению содержания кремния в растении на 23,4%, большая часть которого аккумулировалась в соломе: 1060,8 мг/кг против 470,2 мг в контроле и только часть поступала в полово и меньшее количество обнаруживалось в зерне (268,5 мг/кг). Это способствовало повышению устойчивости растений к полеганию и грибным болезням. Пониженное по сравнению с контролем количество кремния в зерне не повлияло на продуктивность ячменя, которая была на 11% выше, чем в контроле. В контрольном варианте кремний был распределен по органам равномерно: 488,5; 633,9; 470,2 мг/кг, соответственно, в зерне, полое и соломе. Большая часть натрия под влиянием ПОС аккумулировалась в соломе (60,7 мг/кг), содержание натрия в зерне было на уровне чувствительности прибора, что свидетельствует о протекторной роли селена и кремния в сохранении генетической обусловленности репродуктивных органов. В контрольном варианте большая часть поступившего натрия поступала в зерно — 40,4 мг/кг, 36,5 и 36,6 мг/кг, соответственно, в полово и солому.

Обработка семян селеном и кремнием стимулировала поступление микроэлементов: железа, меди, молибдена и марганца в зерно и снижала содержание железа и марганца в полое, а меди и в полое, и в соломе. Поступление молибдена в солому уменьшалось, а в полово увеличивалось по сравнению с контрольным вариантом.

INFLUENCE OF SEED TREATMENT WITH SELENIUM AND SILICON ON THE CONTENT OF BIOGENIC ELEMENTS IN VEGETATIVE AND GENERATIVE ORGANS OF SPRING BARLEY

Osipova L.V., Kurnosova T.L., Bykovskaya I.A., Fedorova E.A.

FSUE All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after Pryanishnikov, Moscow, Russian Federation

Keywords: chemical composition of spring barley

ЦВЕТОЧНЫЕ КУЛЬТУРЫ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Панфилова О.Ф.

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева

Ключевые слова: цветочные культуры, спектральный состав света, светодиоды

Формирование и сохранение декоративных качеств цветочной продукции в значительной степени определяется условиями освещения. Особое значение имеют спектральный состав света, интеграл суточной радиации, его составляющие — плотность потока фотонов и фотопериод. Использование светоизлучающих диодов при выращивании цветочных культур открывает новые возможности точного регулирования светового спектра и интенсивности освещения. На ряде декоративно листенных культур установлено, что использование синего света в качестве дополнительного освещения к естественному увеличивает толщину листа за счет более мощного развития палисадной паренхимы, количество устьиц и устьичную проводимость, содержание фотосинтетических пигментов. В результате возрастают квантовая эффективность фотосинтеза и повышается

декоративность листового аппарата.

Проведено сравнительное изучение декоративных качеств фаленописса при освещении лампами НЛВД, светодиодами с белым, монохроматическим красным, синим или зеленым и трихроматическим светом. Облученность 160 мкмомоль/м²·с, фотопериод 18 ч. Установлено, что трихроматический спектр способствует повышенной оводненности тканей листьев и цветков. Наименьшее содержание воды в цветках наблюдалось под НЛВД, тогда как оводненность листьев в этом варианте не отличалась от трихроматического света. Во всех вариантах опыта цветки по сравнению с листьями характеризовались значительно более высокой устьичной проводимостью и интенсивностью транспирации. Белый и трихроматический свет обеспечивали более высокое накопление фотосинтетических пигментов в листьях.

Таким образом, использование светодиодных облучателей можно считать эффективным способом формирования и сохранения декоративного вида цветочных культур. 23 строки

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий и федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего». Благодарности Автор благодарит магистрантов кафедры за активное участие в проведении экспериментальной работы.

FLOWER CROPS UNDER ARTIFICIAL LIGHTING

Panfilova O.F.

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

Keywords: flower crops, spectral composition of light, LEDs

УДК 631.523.5+631.52:631.524.85:63.

ОБЛУЧЕНИЕ СЕМЯН ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ ЦЕЗИЮМ-137 В УСЛОВИЯХ ТАДЖИКИСТАНА

Партоев К.¹, Сатторов Б.Н.¹, Муминов С.В.²

¹Институт ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана,

²Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН

Таджикистана; 734003, Таджикистан, г. Душанбе, ул. Камарова, 27; e-mail: pkurbanali@mail.ru

Ключевые слова: пшеница, ячмень, урожай, облучение гамма-излучение, Цезий -137.

В статье представлены результаты облучения семян двух сортов пшеницы (Краснодарская-99 и Истараевшан) и одного сорта ячменя (Ченад-345) гамма-излучением (источник гамма-излучения изотоп цезия-137 с энергией $E=661.7$ кэВ, время облучения 10 часов, поглощённая доза 2 Гр), замоченных в дистиллированной воде в течение шести часов.

Материалом исследований послужили семена двух сортов пшеницы (Краснодарская-99, Истараевшан) и один сорт ячменя (Ченад-345) в течение 6 час. замачивали в дистиллированной воде. Половина семян служила контрольными (без обработки гамма-излучением). Вторую часть семян подвергли облучению гамма-излучением (источник гамма-излучения цезий-137 с энергией $E=661.7$ кэВ, время облучения 10 часов и поглощённая доза 2 Гр) в Лаборатории технических услуг Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана. Эксперименты по облучению семян и посева материала в поле провели в течение 2021-2023 гг. Мутантные растения изучались в М1, М2 и М3. Посев необлученных (контрольных) и облученных (опытных) семян пшеницы и ячменя высевали осенью (в ноябре, уборку урожая провели в начале июля). Необлученные (контрольные) и облученные семена пшеницы и ячменя (по 100 семян в каждом варианте) высевали на опытном участке Института ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана, расположенного в Гиссарской долине, на высоте 840 м над уровнем моря (в восточной части города Душанбе).

Исследования показали, что под воздействием облучения наблюдается изменения некоторых морфологических и хозяйствственно полезных признаков пшеницы и ячменя. Эксперименты по облучению семян, посева материала и изучения сортов пшеницы и ячменя в поле провели в течение 2021-2023 гг. Мутантные растения изучались в М1, М2 и М3. Посев необлученных (контрольных) и облученных (опытных) семян пшеницы и ячменя высевали осенью (в ноябре, уборку урожая провели в середине летнего сезона (начале июля)). Облучение семян привело к уменьшению всхожести по сортам: Краснодарская-99—25%, Истараевшан — 20%, Ченад-345—16%, чем у контрольных и задержки всходов семян пшеницы и ячменя, а также вступления растений в фазу развития колошения, цветения и созревания на 5–10 дней, уменьшению высоты растений пшеницы на 20,0 см (или на 31.4%), уменьшению количества зёрен в колосе на 10.3% по сравнению с контрольными. Однако, облучение вызывало увеличение признаков количества зёрен в колосе, масса зёрен 1-го колоса, выход зёрен от общей биомассы и масса 1000 зёрен в среднем по сортам пшеницы и ячменя соответственно на 22.38; 83.33; 25.83 и 95.31%.

Облучение семян ячменя привело к увеличению высоты стебля на 5.5 см (или на 13.1%), не значительному увеличению количества зёрен в колосе и выхода зёрен с общей биомассы. Среди популяции облученных растений сорта Краснодарская-99 выделены мутантное растение, которое в отличие от исходного сорта, имеет ости в колосе и другие полезные признаки.

**IRRADIATION OF WHEAT AND BARLEY SEEDS
WITH CESIUM-137 IN TAJIKISTAN**

Partoev K.¹, Sattorov B.N¹., Muminov S.V².

¹Institute of Botany, Physiology and Genetics of Plants of the National Academy of Sciences of Tajikistan;

²Agency for Chemical, Biological, Radiation and Nuclear Safety of the National Academy of Sciences of Tajikistan; 734003, Tajikistan, Dushanbe, 27, Kamarova st.

Keywords: wheat, barley, harvest, gamma radiation, Cesium-137

УДК. 633.35.632.15

О СЕЛЕКЦИИ ПШЕНИЦЫ В ТАДЖИКИСТАНЕ

Партоев К., Сатторов Б.Н.

Институт ботаники, физиологии и генетики растений
Национальной академии наук Таджикистана;
e-mail: pkurbanali@mail.ru

Ключевые слова. пшеница, селекция, сорт, линия, урожайность.

Глобальная планетарная проблема современности — изменение климата требует новых инновационных подходов от генетиков и селекционеров по созданию новых генотипов сельскохозяйственных растений, которые имели-бы гены устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды. В связи с этим, перед учеными Института ботаники, физиологии и генетики растений Национальной академии наук Таджикистана стоят задачи по сбору и созданию ценных новых форм зерновых, зернобобовых и овощных культур, с генотипом устойчивости к таким стрессорным факторам среды, как высокая температура воздуха, нехватки влаги в почве, высокая инсоляция солнечных лучей, а также устойчивости к болезням и вредителям в будущем. Для осуществления этих задач нами организуются полевые научно-исследовательские экспедиции по сбору семян и изучению стародавних образцов различных сельскохозяйственных культур в различных экосистемах Таджикистана.

Для этого ученые Института ботаники, физиологии и генетики растений Национальной академии наук Таджикистана уделяют особое внимание вопросам сбора, сохранения и вовлечение различных генотипов сельскохозяйственных растений и использования их в селекционном процессе. Ученые лаборатории генетики и селекции растений к настоящему времени собрали и сохраняют более 200 ценных образцов пшеницы. В предыдущие годы семян этих образцов были собраны в результате экспедиций в отдаленных селах нашей республики, с горных районов (на высоте 1800–3000 м над уровнем моря), а также получены из генетических центров различных научно-исследовательских институтов Российской Федерации, Белоруссии, Узбекистана, Казахстана, Китая, Афганистана и в других стран.

При осуществлении селекционных работы ученые ИБФГР НАНТ плодотворно сотрудничают с учеными Таджикской академии сельскохозяйственных наук, Таджикском аграрном университете им. Ш. Шотемур и Таджикском государственном педагогическом университете им. С. Айни, а также с селекционерами из России, Беларуси и Узбекистана.

На основе использования классического селекционного метода отбора в 2010 году среди популяции растений местного сорта пшеницы «Зафар», выделено одно исходное растение, которое резко отличался по окраске листьев и высоты растений. Дальнейшие изучение этого растения в последующие годы исследования показало, что выделенный образец пшеницы по ряду генетических признаков отличался от материнского сорта «Зафар». По нашему мнению, это измененное растение возникло на основе естественного мутагенеза в полевых условиях экспериментального участка Института ботаники, физиологии и генетики растений Национальной академии наук Таджикистана. Новый выделенный образец пшеницы был изучен и размножен в течение 2011–2021 гг. в различных селекционных питомниках, а в 2022 году на основе решения Ученого совета Института ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана был назван сортом «Бахти Истиклол» («Счастья Независимости») и передан в Государственную комиссию по сортопривлечению и охране новых сортов сельскохозяйственных растений Министерства сельского хозяйства Республики Таджикистан.

Новый сорт пшеницы «Бахти Истиклол» значительно превышает материнского сорта пшеницы «Зафар» по ряду генетических признаков, как длина колоса (на 20.76%), масса соломы с листьями (на 13.69%), масса колоса (на 80.75%), число зерен в колосе (на 65.26%), масса зёрен одного колоса (на 23.53%) и масса 1000 зёрен (на 28.05%). Новый сорт «Бахти Истиклол» на 15 дней раньше созревает, чем исходный сорт, а по урожайности превышает сорт «Зафар» на 23.53%. Окраска зерно нового сорта пшеницы «Бахти Истиклол» белая, а у исходного сорта красная. Однако, новый образец пшеницы — «Бахти Истиклол» уступает сорту «Зафар» по таким признакам, как длина колоса с остатками (на 16.78%) и масса мякины (на 29.03%). Также данный сорт является скороспелым сортом, длина стеблей достигает 55–60 см, многолистный, широколистный, сильно зеленого цвета листа. В настоящее время данный новый сорт пшеницы размножается в питомниках размножения для дальнейшего расширения его площади в республике (Авторами сорта являются селекционеры К. Партоев и Б. Н. Сатторов).

В результате селекционных работ учеными ИБФГР НАНТ также получена новая ультраскороспелая форма пшеницы, которую можно высевать осенью, рано весной и летом в условиях Гиссарской долины Таджикистана (на высоте 840 м над уровнем моря). Эта новая форма пшеницы — «Тобистона» («Летняя»), которая за один вегетационный год (с осенью к осени) на орошаемых землях обеспечивает за два укоса получению около 9 т/га урожая качественного зерна. Данная полученная ценная форма пшеницы, выделена из популяции местного стародавнего образца пшеницы «Сурхаки махали» («Местная красная»), которая размножается на полях фермеров горных районов республики (на высоте 1500–2000 м над уровнем моря) с давних времен, и она акклиматизирована к условиям местности. Данная новая линия пшеницы характеризуется генетическим признаком-скороспелость и устойчивости к высокой температуре в условиях республики. Так же эту новую линию пшеницы можно использовать в селекционных программах по выведению новых интенсивных сортов пшеницы (Авторами этой новой линии пшеницы являются К. Партоев и Б. Н. Сатторов).

Таким образом, таджикскими селекционерами широко и эффективно используются такими традиционными методами селекции, как индивидуальный полезный фенотипический отбор и адаптации, а также методов гибридизации и мутагенеза в селекции пшеницы в Таджикистане.

ABOUT WHEAT BREEDING IN TAJIKISTAN

Partoev K., Sattorov B.N.

Institute of Botany, Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Tajikistan; 734003, Tajikistan, Dushanbe, 27, Kamarova str., e-mail: pkurbanali@mail.ru

Keywords: wheat, breeding, variety, line, yield.

ИЗМЕНЕНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И УРОЖАЙНОСТЬ ОВСА ПОСЕВНОГО В ЯКУТИИ

Петрова Л.В

ФИЦ ЯНЦ СО РАН «Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Софронова»
E-mail: pelidia@yandex.ru

Ключевые слова: овес, урожайность, сорта овса, Якутия.

Якутия расположена в зоне рискованного земледелия, в которой лимитирующими факторами являются как низкие температуры, так и недостаточная влагообеспеченность. Овес является основной зернофуражной культурой Якутии. В последние десятилетия наблюдается активное потепление климата Якутии, влияющее на эффективность возделывания овса в разных климатических зонах республики. Цель исследования — выявить изменение и влияние агроклиматических условий на урожайность районированных сортов овса в разных природных зонах Якутии. Показано, что в период с 1960 по 2021 г. среднегодовая температура воздуха на территории Центральной Якутии (метеостанция Покровск) повышалась ежегодно на 0,045 °C, с 1999 по 2021 г. — на 0,088 °C, а количество засушливых лет в июне возросло с 67 до 92% за счет увеличения на 21% лет со средней ($\text{ГТК} = 0,41\text{--}0,60$) и очень сильной ($\text{ГТК} < 0,21$) засухой. В июле засуха отмечена в 52% лет, августе — в 41%. Во всех агроклиматических зонах в период с 2014 по 2021 г. за июнь — август ежегодно повышалась среднесуточная температура воздуха (на 0,16...0,34 °C) и их сумма (14...28 °C), уменьшалось количество осадков (3–16 мм) и значение ГТК (на 0,04–0,12 ед.). Климатические изменения с 2014 по 2021 г. проходили в 3–8 раз интенсивнее, чем с 1999 по 2022 г. Наибольшее ежегодное снижение урожайности зерна сортов овса (на 0,25–0,26 т/га) наблюдалось в засушливых Центральной (Якутский ГСУ) и Заречной (Мегино-Кангаласский ГСУ) агроклиматических зонах в сравнении с более влажными северной частью Центральной Якутии (Покровский стационар — 0,15 т/га) и Олекмо-Ленской зоной (Олекминский ГСУ — на 0,10 т/га). Более значительное влияние на урожай в Центральной и Таежной зонах оказывали осадки и ГТК вегетационного периода ($r = 0,77\text{...}0,84$), в Олекма-Ленской зоне — температура ($r = -0,79$). Негативное влияние температуры на урожай в Центральной зоне отмечено в июне ($r = -0,83$), Заречной — июле ($r = -0,83$), в Олекма-Ленской зоне — в августе ($r = -0,86$). Осадки и ГТК наибольшее влияние на урожайность в Центральной зоне оказывали в июне и июле ($r = 0,56\text{...}0,59$), Заречной зоне — июле и августе ($r = 0,60\text{...}0,76$). В Олекма-Ленской зоне связь урожайности с осадками и ГТК в июне и июле была положительной ($r = 0,23\text{...}0,37$), в августе — отрицательной ($r = -0,57\text{...} -0,71$). Задачей селекции овса в регионе является создание скороспелых засухоустойчивых сортов, формирующих стабильный урожай зерна в разных агроклиматических условиях.

Детальный анализ структуры урожайности районированных сортов овса в Центральной зоне Якутии подтвердил, что на структурные элементы большое влияние оказывают условия влагообеспеченности. Уменьшение осадков и ГТК за июнь-июль приводит к снижению таких показателей, как масса 1000 зерен, высота растения, длина метелки, урожайность.

Значительная изменчивость и зависимость урожайности овса и элементов ее структуры от условий увлажнения в Центральной и Заречной зонах свидетельствует о необходимости продолжения селекционной работы по созданию засухоустойчивых сортов овса посевного, адаптированных к конкретным агроклиматическим условиям Якутии.

CHANGES IN AGROCLIMATIC CONDITIONS AND YIELD OF OATS IN YAKUTIA

Petrova L.V.

Federal Research Center Yaroslavl Scientific Center SB RAS «Yakut Scientific Research Institute of Agriculture named after M.G. Sofronova»

Keywords: oats, productivity, oat varieties, Yakutia.

СРАВНЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ С3 (CHENOPODIUM QUINOA) И С3-С4 (SEDOBASSIA SEDOIDES) К КОМБИНИРОВАННОМУ ДЕЙСТВИЮ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ЗАСОЛЕНИЯ

Прокофьева М.Ю*, Рахманкулова З.Ф., Шуйская Е.В., Saidova Л.Т., Воронин П.Ю.

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

*E-mail: maria.vdovitchenko@gmail.com

Ключевые слова: Amaranthaceae, комбинированный стресс, засоление, температура

В условиях изменения климата способность растений эффективно акклиматизироваться к высоким температурам в сочетании с другими абиотическими стрессами, такими как засоление и осмотическое давление, становится ключевым фактором сохранения их продуктивности. Исследования показывают, что фотосинтетический тип растений играет важную роль в их адаптивном потенциале.

На примере растений С₃ вида *Chenopodium quinoa* при длительном выращивании при 35°C отмечалось уменьшение эффективности ФСII и запуск компенсаторной экспрессии фотосинтетических генов *psbA*, *FDI* и *rbcL*. Однако комбинированное действие температуры и 300 мМ NaCl приводило к трехкратному увеличению уровня МДА, резкому снижению биомассы и экспрессии *psbA*, *FDI*, *rbcL* и *PGR5*. ФСI проявляла высокую термоустойчивость, но снижение экспрессии гена *PGR5* могло приводить к изменению роли PGR5/PGRL1-зависимого в пользу НАДН-зависимого пути циклического электронного транспорта (ЦЭТ) вокруг ФСI.

У растений С₃ — С₄-промежуточного вида *Sedobassia sedoides* при длительном выращивании при 35°C без засоления наблюдалось снижение сухой биомассы на 26% и шестикратное уменьшение интенсивности фотосинтеза. Внесение 300 мМ NaCl ограничивало снижение фотосинтетической активности, но не отражалось на накоплении биомассы. Солевой стресс усиливал ЦЭТ вокруг ФСI, способствуя поддержанию энергетического баланса и восстановлению уровней ключевых фотосинтетических ферментов Рубиско и ГДК. Кроме того, отмечалось повышение экспрессии генов *rbcL*, *PPDK* и *FDI*, что свидетельствует об активации С₂-механизма концентрации CO₂. Дополнительно комбинированный стресс повышал активность антиоксидантных ферментов, снижая накопление продуктов перекисного окисления липидов.

Таким образом, метаболическая гибкость растений *Sedobassia sedoides* и их галофитные адаптации обеспечивают более эффективную термозащиту и осморегуляцию при комбинированном стрессе, чем у растений *Chenopodium quinoa*, что связано с различными стратегиями адаптации, включая регуляцию водного баланса, активности ЦЭТ и антиоксидантной защиты. Учет этих особенностей фотосинтетического типа при селекции и биоинженерных подходах позволит повысить устойчивость сельскохозяйственных культур и укрепить продовольственную безопасность в условиях изменяющегося климата.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки России № 122042700044–6.

COMPARISON OF RESISTANCE OF C3 (CHENOPODIUM QUINOA) AND C3-C4 (SEDOBASSIA SEDOIDES) PLANTS TO THE COMBINED EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURE AND SALINITY

Prokofieva M.Yu, Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V., Saidova L.T., Voronin P.Yu.

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

Keywords: Amaranthaceae, combined stress, salinity, temperature

ПРОДУКТИВНОСТЬ МАРШЕВЫХ ЛУГОВ НА ЮГЕ САХАЛИНА (ЗАЛИВ АНИВА)

Рожкова-Тимина И.О.

Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск, Россия
e-mail: inna.timina@mail.ru

Ключевые слова: марши, продуктивность, травяная растительность, Сахалин.

Марши — соленые и богатые углеродом местообитания, заселенные галофитными растительными сообществами и образующиеся в устьях рек и на илистых береговых осушках побережий приливных морей. Эти экосистемы хранят большое количество углерода, и смещение углеродного баланса маршевых лугов может привести к увеличению эмиссии диоксида углерода.

Исследования проводили в августе 2024 года на юге острова Сахалин (побережье бухты Лососей в верховье залива Анива) на нескольких профилях, проложенных от линии моря вглубь острова (т.е. от низких маршей к высоким) и в одной внепрофильной точке (прирусловой вал р. Сусуя). В фазу максимального развития травостоя запасы зеленой фитомассы в надземной части составили от 105,07 до 304,03 г/м², мортмассы — от 0 до 330,56 г/м² (из них масса ветоши максимально составила 160,9 г/м², подстилки — 179,06 г/м²). Отличительной особенностью низких маршей оказалось, что на них отсутствует надземная мортмасса, которая вымывается с берегов приливно-отливной деятельностью моря. На прирусловом валу устья р. Сусуя отсутствует ветошь, но представлено большое (в сравнении с профильными точками) количество подстилки. На всех точках обследуемой площади количество подстилки больше количества ветоши, но меньше зеленой массы, что говорит о слабом протекании процессов разложения и минерализации растительных остатков. При сравнении показателей биомассы непараметрическим критерием Краскелл-Уоллиса ($p<0,01$) значения зеленой фитомассы, отобранный на профилях, не показали статистически значимой разницы. От них отличается внепрофильная точка прируслового вала, где количество зеленой массы значительно меньше. Медианное среднее значение массы ветоши находится в диапазоне от 0 до 300 г/м². На внепрофильной точке ветошь отсутствует. Значения подстилки, несмотря на существенную разницу в минимальных и максимальных значениях, не показали статистически достоверных отличий в медианном значении. В целом из этого можно заключить, что продуктивность фитомассы на маршевых лугах залива Анива зависит от геоморфологических, гидрологических, почвенных и других факторов, а не от местоположения и видового состава фитоценоза.

PRODUCTIVITY OF MARCH MEADOWS IN THE SOUTH OF SAKHALIN (ANIVA BAY)

Rozhkova-Timina I.O.

Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Keywords: marches, productivity, herbaceous vegetation, Sakhalin.

РЕАКЦИЯ РАСТЕНИЙ КИТАЙСКОЙ ЛИСТОВОЙ КАПУСТЫ НА РАЗЛИЧНЫЕ УРОВНИ PPFD: МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Романенко М.Д.* Тараканов И.Г.

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия

* E-mail: rommd31@gmail.com

Ключевые слова: китайская листовая капуста, светокультура, фотосинтетический поток фотонов, светодиоды, интенсивность освещения.

Исследование направлено на изучение влияния различных уровней плотности фотосинтетического потока фотонов (PPFD) на рост и развитие китайской листовой капусты сортов Ласточка и Веснянка в условиях светокультуры. В эксперименте использовали светодиодные облучатели с четырьмя уровнями PPFD: 55, 110, 220 и 440 мкмоль·м⁻²·с⁻¹. Фотопериод — 20 часов. Растения выращивали в вегетационных сосудах на субстрате Агробалт-С.

Варианты с освещенностью 220 и 440 мкмоль·м⁻²·с⁻¹ оказались наиболее благоприятными для роста растений. При этих условиях наблюдался значительный прирост биомассы, увеличение числа листьев и площади листовой поверхности. При низком уровне PPFD (55–110 мкмоль·м⁻²·с⁻¹) происходили задержка роста и снижение продуктивности.

Изучение газообмена и флуоресценции хлорофилла *a* показало, что увеличение PPFD до 220 мкмоль·м⁻²·с⁻¹ повышает фотосинтетическую активность и устьичную проводимость. Однако при PPFD 440 мкмоль·м⁻²·с⁻¹ отмечались признаки фотоингибирования, снижение устьичной проводимости и скорости транспирации.

Анализ содержания пигментов показал, что растения адаптируются к разным уровням освещения: при низком PPFD увеличивается концентрация хлорофиллов, а при высоком — снижается, что свидетельствует об экономии ресурсов. Каротиноиды оставались стабильными, выполняя защитную функцию.

Исследование подтверждает важность оптимизации PPFD для выращивания китайской листовой капусты в условиях защищенного грунта. Рекомендуемые уровни освещения (220–440 мкмоль·м⁻²·с⁻¹) способствуют повышению урожайности и качества продукции. Полученные данные могут быть использованы для разработки рекомендаций по управлению световым режимом в теплицах и вертикальных фермах.

RESPONSE OF CHINESE LEAF PLANTS TO DIFFERENT LEVELS OF PPFD: MORPHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS

Romanenko M.D., Tarakanov I.G.

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy
named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

Keywords: Chinese leaf cabbage, photoculture, photosynthetic photon flux, LEDs, illumination intensity.

ИНГИБИТОР КАСПАЗЫ-3 ПОДАВЛЯЕТ ЗАПРОГРАММИРОВАННУЮ ГИБЕЛЬ КЛЕТОК, ВЫЗВАННУЮ САМОНЕСОВМЕСТИМОСТЬЮ, В ПЫЛЬЦЕВЫХ ТРУБКАХ *PETUNIA HYBRIDA E. VILM* И *SOLANUM PENNELLII CORRELL*

Захарова Е.В.*¹, Молчанова Т.П., Голиванов Я.Ю.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», Москва, Россия

*E-mail: zakharova_ekater@mail.ru

Ключевые слова: программируемая клеточная смерть, каспазо-3-подобная протеаза/DEVDase, ингибитор каспазы-3 Ac-DEVD-CHO, рост пыльцевой трубки

Исследования механизмов самонесовместимости (СН) S-РНКазного типа у растений семейства Solanaceae петунии (*Petunia hybrida* E. Vilm.) и томатов (*Solanum pennellii* Correll) показывают, что программируемая клеточная смерть (ПКС) является фактором СН. ПКС у растений может различаться, но в целом демонстрирует набор общих черт, в частности, активность каспазо-подобных протеаз, которые представляют собой группу эндонуклеаз, расщепляющих различные белки по остаткам аспарагиновой кислоты. Наши исследования продемонстрировали наличие маркеров ПКС в несовместимых пыльцевых трубках (ПТ) петунии и томатов, таких как фрагментация ДНК, активация каспазо-подобных протеаз и распад плазматической мембранны. Мы наблюдали всплеск активности каспазо-3-подобной протеазы в ПТ в первые 2–4 часа после самонесовместимого опыления у *P. hybrida* и *S. pennellii*, тогда как гибель самонесовместимой ПТ (фрагментация ДНК) у петунии происходит к 8ми часам после опыления. Также к 4м часам опыления еще не наблюдается видимых изменений в строении ПТ. При этом, ПТ растут, то есть в них еще происходят все процессы, необходимые для жизнедеятельности клетки и ее роста. В своих предыдущих работах, с использованием метода прижизненной визуализации каспазо-3,7-подобных протеаз, мы показали, что их активность определяется непосредственно в самонесовместимых ПТ, а не в окружающих проводниковых тканях пестика.

В настоящем исследовании, было показано, что обработка тычинок *P. hybrida* в концентрации 0,25 мМ и томатов *S. pennellii* в концентрации 0,0625 мМ ингибитором каспазы-3 (Ac-DEVD-CHO) за 2 часа до самонесовместимого опыления снимает барьер СН и ПТ дорастают до завязи, формируются плоды и семена. Поскольку этот эффект уже показан нами на двух объектах сем. Solanaceae можно утверждать, что каспазо-подобные протеазы играют определяющую роль в процессе ПКС в самонесовместимых ПТ, вызванной СН Solanaceae типа. Это в дальнейшем может послужить новым методом преодоления СН и для повышения эффективности размножения инбридинговых линий в сельскохозяйственной практике.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (госзадание № FGUM -2025-0003).

CASPASE-3 INHIBITOR SUPPRESSES SELF-INCOMPATIBILITY-INDUCED PROGRAMMED CELL DEATH IN POLLEN TUBES OF PETUNIA *HYBRIDA E. VILM* AND *SOLANUM PENNELLII CORRELL*

Zakharova E.V., Molchanova T.P., Golivanov Ya.Yu.

Federal State Budgetary Scientific Institution “All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology”, Moscow, Russia

Keywords: programmed cell death, caspase-3-like protease/DEVDase, caspase-3 inhibitor Ac-DEVD-CHO, pollen tube growth

АНАЛИЗ ГЕНОВ РОДОПСИНОВ ИОННЫХ КАНАЛОВ В КОЛЛЕКЦИОННЫХ ШТАММАХ И ПРИРОДНЫХ ИЗОЛЯТАХ ВОДОРОСЛЕЙ CHLOROPHYTA И CRYPTOPHYTA БЕЛОГО И ЧЕРНОГО МОРЁЙ

О. В. Карпова¹, Е. Н. Виноградова^{1,2}, Е. С. Лобакова¹

¹ ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Биологический факультет, info@mail.bio.msu.ru;

²НИЦ «Курчатовский Институт», НБИКС Геномный Центр, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1, nrckigc@nrckigc.ru

Ключевые слова: гены родопсин ионных каналов, Белое море, родопсин

Цель проекта заключается в создании новой коллекции уникальных генов родопсинов и ее патентовании для обеспечения собственной инструментальной базы для оптогенетических исследований в России.

Оптогенетика — сравнительно новое направление медицины на стыке генной инженерии, физиологии и биофизики. Метод основан на применении светоактивируемых белков, канальных родопсинов, которые способны модулировать мембранный потенциал в зависимости от освещения и при экспрессии в клетках-мишениях вызывают возбуждение или торможение нервного импульса. Одним из основных препятствий для развития оптогенетики остается острый недостаток генов родопсинов с нужными характеристиками, доступных для исследователей. Эти уникальные гены обнаружены в нескольких видах зеленых (*Chlorophyta*) и криптофитовых (*Cryptophyta*) водорослей, геномы которых до сих пор мало изучены.

МАТЕРИАЛЫ. Коллекция водорослей *Chlorophyta* Беломорского бассейна (кафедра биоинженерии Биологического факультета МГУ); образцы эндемичных водорослей *Cryptophyta* Белого и Черного морей. Ресурсы с открытым доступом — базы данных транскриптомов MMETSP 1091, 1389; базы данных NCBI.

РЕЗУЛЬТАТЫ. На основании анализа гомологии последовательностей генов канальных родопсинов мы разработали ПЦР-тесты для идентификации этих генов.

Родопсины катионных каналов, CCR. При ПЦР-анализе коллекции *Chlorophyta* были обнаружены и частично охарактеризованы два гена *CCR* в микроводоросли *Haematococcus lacustris* NAMSU-BM7-98/15, включая ранее неизвестный, 98CCR2. Также нам впервые удалось идентифицировать гены *CCR* в водорослях рода *Bracteacoccus aggregatus* NAMSU-BM5-34/15, один из которых, 34CCR, был проанализирован более детально. По результатам 3Д-моделирования (SWISS-MODEL), кодируемые полипептиды 98CCR2 и 34CCR содержат все 7 консервативных доменов сенсорных родопсинов; показано, что белок 34CCR обладает фотохимической активностью.

Родопсины анионных каналов, ACR, обнаружены в основном в микроводорослях *Cryptophyta*. Нам удалось идентифицировать 2 новых гена в эндемичных изолятах — природном образце *Rhodomonas* sp из Белого моря и в обогащенной культуре черноморского изолята *Cryptomonas* из коллекции ИМБИ РАН, Севастополь. Фрагменты генов, *RhACR* и *CrACR*, соответственно, кодируют открытые рамки считывания, гомологичные *ACR Rhodomonas* sp (56% и 92% идентичности).

Основным препятствием для поиска генов *ACR* оказалось то, что ввиду трудности (или невозможности) культивирования *Cryptophyta* материалом для работы являются природные или обогащенные образцы высокой геномной сложности. В таких условиях эффективность ПЦР-анализа значительно снижается, поэтому для поиска уникальных родопсинов анионных

каналов мы сочетаем ПЦР-тестирование с анализом *in silico* и метагеномными методами исследования.

Исследование выполнено в рамках Центра интегративной структурной биологии КК НБИКС-ПТ

FUNCTIONAL ANALYSIS OF THE CHANNELRHODOPSIN GENES FROM THE GREEN ALGAE OF THE WHITE AND BLACK SEA BASIN

Karpova O.V.¹, Vinogradova E.N.^{1,2}, Lobakova E.S.¹

¹Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1, building 12,
Faculty of Biology;

²National Research Center “Kurchatov Institute”, NBICS Genome Center,
123182, Moscow, Academician Kurchatov Square, 1.

Keywords: Channelrhodopsin Genes, White Sea, Rodopsin

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Кашулин П.А., Калачева Н.В.

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина, Апатиты, РФ

E-mail: falconet1@yandex.ru

Ключевые слова: солнечная активность, Субарктика, фотосинтез, флуоресценция хлорофилла

Для оценки роли глобальных биосферных изменений необходимо учитывать фоновую нестабильность и цикличность солнечной активности, связанную напрямую с фотосинтетической активностью и продуктивностью экосистем. С этой целью проводили многолетние измерения фотосинтетической активности индикаторных деревьев аборигенных экотипов осины *Populus tremula* L. и берёзы *Betula pendula* Roth лесопарковой зоны предгорной долины Хибин. Фотосинтетическую активность оценивали, измеряя собственную и активированную светодиодами импульсно-модулированную флуоресценцию листьев в вечернее время портативным флуориметром PAM-2100, «WALZ, Effetreich» (ФРГ) с весны до осеннего листопада. Обнаружены разные режимы ассимиляции в разные месяцы. Взаимно независимая, нерегулярная динамика фотосинтеза листьев кроны одного или нескольких соседних деревьев при резких изменениях среды могла переходить во взаимосогласованный синхронный режим. Характер осеннего угасания фотосинтетической активности зависит от многих факторов, температуры, световых условий, собственной теплопродукции. Устойчивость к неблагоприятным условиям, эффективность ассимиляции, активация фотозащитных функций и биохимических механизмов, ответственных за переход в состояние покоя требует пространственно-временной координации функций разных фрагментов кроны. Универсальным динамическим механизмом, обеспечивающим решение таких системных задач, являются биологические ритмы и синхронизация компонентов биологических систем, которые повышают устойчивость растений в экстремальных условиях. Независимо от физиолого-биохимических причин роста собственной флуоресценции хлорофилл содержащих структур в экстремальных условиях происходит генерализованное усиление их дистанционного взаимодействия с возможным переходом в синхронный режим. В целом цикличность и синхронность повышают температурную устойчивость растений и экологическую пластичность их популяций, способствуя своевременной и более эффективной реализации адаптационного потенциала вида.

С благодарностью д. б. н., член-корру РАН В.К. Жирову за предоставление исключительно благоприятных условий для работы.

PHOTOSYNTHETIC ACTIVITY OF TREES IN THE KOLA NORTH UNDER CHANGING CLIMATE

Kashulin P.A., Kalacheva N.V.

N.A. Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Apatity, Russian Federation

Keywords: solar activity, Subarctic, photosynthesis, chlorophyll fluorescence

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ И ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ ДЛИННОЗЕРНОГО СОРТА РИСА

Ковалев В.С., Скаженник М.А.*., Оглы А.М., Пшеницына Т.С.

ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», г. Краснодар, Россия

*E-mail: sma_49@mail.ru

Ключевые слова: рис, производственный процесс, элементы урожая, урожайность.

В Российской Федерации ежегодные валовые сборы риса составляют 1,1–1,2 млн. тонн при урожайности 5,5–5,7 т/га. Крупнейшим регионом производителем риса в России является Краснодарский край, на долю которого приходится около 80% валового производства, а урожайность достигает 6,4–6,6 т/га. Весь производимый в РФ рис — короткозерные и среднезерные сорта. Крупа длиннозерного риса (игольчатого типа) завозится из Юго-Восточной Азии. Важнейшей задачей селекции риса является создание высокопродуктивных и устойчивых к неблагоприятным факторам среди сортов. Её успешное решение связано с изучением механизмов производственного процесса, определяющих величину урожая и параметры устойчивости у новых генотипов риса. Особенности производственного процесса у сортов риса, определяющие их разную урожайность, связаны с комплексом физиологических и морфологических признаков у растений, выявление которых и установление их корреляций с формированием биологической массы, отдельных элементов структуры урожая, послужило нашей главной задачей. Целью работы явилось изучение производственного процесса длиннозерных сортов риса, а также разработка на этой основе научно обоснованных параметров физиологической модели длиннозерного генотипа. Установлены количественные параметры признаков, определяющих особенности донорно-акцепторных отношений у длиннозерных генотипов риса, урожайность и устойчивость к полеганию. Определены морфофизиологические признаки сортов, обуславливающие у них активность фотосинтетического аппарата, характер распределения ассимилятов по органам растения, величину и структуру биологического и хозяйственного урожая, реакцию на азот и устойчивость к полеганию. Разработаны исходные параметры модели длиннозерного генотипа риса для использования в селекционном процессе и совершенствования технологии его возделывания. Она несет информацию об оптимальных морфофизиологических параметрах растения и агрофитоценоза, при которых формируется высокая урожайность конкретного сорта в данных агроклиматических условиях среды. Основными параметрами модели являются: сила роста семян, объемная плотность посева, уборочный индекс ($K_{хоз}$), озерненность метелки и агрофитоценоза, устойчивость стебля на изгиб и содержание в нем целлюлозы, доля использования поглощенного азота на формирование урожая (K_N %), имеющие тесную связь с урожайностью сортов. С использованием этой модели создан длиннозерный сорт риса Восток, который передан на государственное сортоиспытание. Относится к среднеспелой группе. Вегетационный период 110–115 дней. Высота растений 95–105 см. Куст компактный, прямостоячий. Стебель прочный, средней толщины. Сорт длиннозерный, обладает средними темпами роста проростков в начале вегетации. Урожайность за годы конкурсного испытания составила 7,65–9,65 т/га.

PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PARAMETERS OF THE MODEL LONG-GRAIN RICE VARIETY

Kovalev V.S., Skazhennik M.A., Ogly A.M., Pshenitsyna T.S.

Federal Scientific Center of Rice, Krasnodar, Russia

Keywords: rice, production process, crop elements, yield.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ ИЗ МИКРОКЛОНОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Колесникова Е.О., Пономарева С.В., Бердников Р.В.

ООО «СоюзСемСвекла», Воронежская область, Россия,
E-mail: kolesnikovaeo@souzsemsvekla.ru

Ключевые слова: микроклоны, адаптация, условия, сахарная свекла.

Эффективное производство отечественных гибридов сахарной свеклы является основной задачей селекционно-генетического центра ООО «СоюзСемСвекла». С целью ускорения селекционного процесса особое внимание в работе уделяется применению биотехнологий, часть разделов которых основана на использовании растительных объектов *in vitro*. Для многих растений процесс смены условий культивирования и адаптация является критическим этапом. Основными проблемами являются потеря тургора, усыхание точки роста, остановка ростовых процессов, длительный период формирования штеклинга. В связи с этим одной из основных задач является проведение работ по оптимизации условий культивирования при укоренении растений *in vitro*, по активации адаптационных и ростовых процессов при переводе микроклонов сахарной свеклы в условия *ex vitro*.

Цель данной работы — подбор состава среды для стимуляции ризогенеза, оптимизация процесса адаптации при смене условий культивирования, включающая подбор температурного и влажностного режима, длинны светового дня, состава и уровня РН субстрата.

В процессе работ были выявлены условия, позволяющие получать 90% укоренившихся микроклонов сахарной свеклы *in vitro*. В последующем работы проводились в теплице, где были установлены параметры, обеспечивающие укоренную в 2 раза адаптацию и выживаемость 100% растений: субстрат, состоящий из торфа с нейтральным РН и перлита 4:1, влажность воздуха 85–90%, температура +22+24°C, еженедельные подкормки. При этом после пересадки в теплицу микроклоны сохраняли тургор, а через 10–12 дней у 100% растений активировались ростовые процессы, увеличивался размер листовой пластины, появлялись новые листья. На следующем этапе доращивания при длинном световом дне, температуре +20+22°C, влажности 70%, применении минеральных растворов процесс формирования корнеплодов ускорялся на 1 месяц.

В результате проведенных работ были выявлены условия, которые позволили повысить эффективность укоренения микроклонов *in vitro*, сократить период адаптации растений при смене условий культивирования до полутора недель, а процесс доращивания до корнеплодов до двух месяцев.

IMPROVING THE CONDITIONS FOR OBTAINING ROOT CROPS FROM SUGAR BEET MICROCLONES

Kolesnikova E.O., Ponomareva S.V., Berdnikov R.V.

Soyuzsemsvekla LLC, Voronezh Region, Russia,

Key words: microclones, adaptation, conditions, sugar beet.

ГАЗООБМЕН СО₂ МЕЖДУ ТРОПИЧЕСКИМ ГОРНЫМ ЛЕСОМ И АТМОСФЕРОЙ В ЦЕНТРАЛЬНОМ НАГОРЬЕ ВЬЕТНАМА

Курбатова Ю.А.¹, Авилов В.К.¹, Амиров Ф.О.^{1,2}, Динь Ба Зуи³, Иванов Д.Г.¹, Мыслицкая Н.А.^{1,2}

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

²Южное отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра, Хошимин, Вьетнам

³Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам

E-mail: kurbatova.j@gmail.com

Ключевые слова: экосистемные потоки углерода, эмиссия CO₂, метод турбулентных пульсаций

Роль тропических лесов в глобальном цикле углерода в настоящее время по-прежнему остается дискуссионной в связи с ограниченностью экспериментальных данных о поглощении и эмиссии CO₂ в различных лесных экосистемах тропического региона. С целью оценки временной динамики экосистемных потоков углерода (ЭПУ) между пологом растительности и атмосферой, а также пространственной изменчивости эмиссии CO₂ с поверхности почвы в горных лесах Центрального нагорья Вьетнама, на территории национального парка Контюранг были организованы экспериментальные наблюдения за потоками углерода на различных уровнях пространственного осреднения как часть комплексных исследований Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра. В апреле 2022 г. в лесной экосистеме была установлена металлическая вышка, высотой 50 м, на которой был размещен комплекс метеорологического оборудования и газоанализатор для измерения концентрации CO₂. Инструментальная база комплекса позволяет проводить высокочастотные непрерывные наблюдения за чистым экосистемным обменом (NEE) CO₂, а также анализировать влияние внешних факторов в формировании временной изменчивости ЭПУ. Наблюдения за эмиссией CO₂ были выполнены в рамках краткосрочных экспедиционных исследований камерным методом вдоль трансекта, расположенного в пределах площади осреднения ЭПУ.

Проведенные исследования показали, что для горных лесов Центрального Вьетнама характерна выраженная сезонная динамика всех исследуемых метеорологических параметров, а также основных потоков углерода (общей первичной продукции, экосистемного дыхания (Reco) и NEE, определяемая, в том числе, особенностями муссонного климата и наличием сухого и влажного сезонов. Экосистема горного леса в сезонной динамике может быть, как стоком (апрель-сентябрь), так и источником (октябрь-март) CO₂ для атмосферы. Максимальные оценки NEE (более -55 гC m⁻²мес⁻¹, знак «минус» соответствует поглощению) были получены в летние месяцы, в условиях максимальных температур и избыточного увлажнения). Для эмиссионных потоков CO₂ с напочвенного покрова в конце сухого сезона 2025 г. была отмечена высокая пространственная гетерогенность. Почвенные потоки изменились от 30 до 300 мгC m⁻²ч⁻¹ (или 22–220 гC m⁻²мес⁻¹), что сопоставимо с полученными оценками Reco, которые варьируют от 130 до 300 гC m⁻²мес⁻¹.

CO₂ GAS EXCHANGE BETWEEN A TROPICAL MOUNTAIN FOREST AND THE ATMOSPHERE IN THE CENTRAL HIGHLANDS OF VIETNAM

Kurbatova Yu.A.¹, Avilov V.K.¹, Amirov F.O.^{1,2}, Dinh Ba Duy³, Ivanov D.G.¹, Myslitskaya N.A.^{1,2}

¹ A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the RAS, Moscow, Russia

² Southern Branch of Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Ho Chi Minh, Vietnam

³ Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Hanoi

Key words: ecosystem carbon fluxes, CO₂ emission, eddy covariance method

РАЗНООБРАЗИЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ - СИМБИОНТОВ ЛИСТОСТЕБЕЛЬНЫХ МХОВ КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ (*IN SITU* И *IN VITRO*)

Лобакова Е.С.*, Федоренко Т.А., Зайцева А.А., Карпова О.В.,
Шибзухова К.А., Бутаева Г.Б., Горелова О.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, Москва, РФ

*E-mail: elena.lobakova@gmail.com

Ключевые слова: мхи, биоразнообразие цианобактерий, диазотрофный симбиоз

Симбиозы листостебельных мхов с диазотрофными цианобактериями (Цб) широко распространены в высоких широтах и играют значительную роль в растительных экосистемах.

Цель работы — сравнительный анализ состава Цб, обитающих на побегах мха *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp, собранных в двух удаленных друг от друга экотопах (ББС и Карьер), а также в накопительных культурах (НК) из фрагментов мхов и полученных из них изолятов.

Оценку разнообразия Цб на побегах *in situ* и в полученных НК проводили методом NGS по V4 фрагменту гена 16S рРНК на платформе Illumina и различных методов микроскопии. Идентификацию полученных *in vitro* штаммов Цб проводили по морфологическим особенностям и последовательностям генов 16S рРНК и *rbcL* с использованием БД SILVA и GenBank NCBI.

В образцах мхов «ББС» обнаружены чтения, относящиеся к сем. *Nostocaceae*, а в образцах «Карьер» — кроме того относящиеся к Цб рода *Stenomitos* и представителям сем. *Tolyphothrichaceae*. Всего в образцах идентифицировано 6 эпигенных штаммов (вариантов секвенирования, ASV) Цб рода *Nostoc*, гомологичных штамму *N. punctiforme* РСС73102 — симбионту макрозамии. Среди доминирующих чтений, идентифицирован ASV *Nostoc_1*, который следует признать космополитом в симбиозах со мхами на исследуемой территории побережья. В природном образце «ББС» и НК из пробы «Карьер» отмечены не идентифицированные до рода представители сем. *Nostocaceae* и *Stigonemataceae*.

Выявлены значительные различия таксономического состава Цб *in vitro* в НК из разных образцов. В НК образца «ББС» присутствуют только чтения *Nostoc_1*, доминирующие в природном образце. В НК образца «Карьер» отмечено повышенное разнообразие Цб родов *Stenomitos* и *Nostoc* по сравнению с природным образцом.

Из НК обоих экотопов изолированы штаммы Цб, отнесенные по морфологическим признакам к роду *Nostoc*: формирование гормогоний, кластеров, наличие гетероцит и акинет. Идентификация полученных штаммов Цб по гену *rbcL* показала их полную идентичность (100%) между собой. Поиск ближайших гомологов с помощью алгоритма BLAST выявил полную идентичность фрагмента гена 16S рРНК изолята «Карьер» последовательностям *Nostoc* sp.: цианобионту лишайника *Peltigera membranacea*, *N. punctiforme* РСС73102, *Nostoc* sp. ACSSI045, а также близкородственность штаммам цианобионтов цианолишайников.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ грант 23-74-00037.

DIVERSITY OF CYANOBACTERIA - SYMBIANTS OF LEAF-STEMMED MOSES OF THE KARELIAN COAST OF THE WHITE SEA (*IN SITU* AND *IN VITRO*)

Lobakova E.S., Fedorenko T.A., Zaitseva A.A., Karpova O.V.,
Shibzukhova K.A., Butaeva G.B., Gorelova O.A.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Moscow, Russian Federation

Keywords: mosses, biodiversity of cyanobacteria, diazotrophic symbiosis

ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ПЕССИМАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПРИЗНАКИ *SOLANUM TUBEROZUM L.*

Лыкова Н.А.

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия
E-mail: batygin@mail.ru

Ключевые слова: минеральное питание, картофель, экологическое последействие, эффект превегетации

Проблема однородности семенной фракции картофеля изучена довольно подробно. Клубни калибруют по наибольшему поперечному диаметру, по массе. Представлены экспериментальные данные по влиянию на рост и развитие растений *Solanum tuberosum L.* пессимальных значений NPK. Проведен продленный экофизиологический эксперимент. В течение трех лет растения картофеля одинакового сортообразца выращивали в условиях Ленинградской и Курской областей, используя уровни минерального питания растений от недостаточного до избыточного, с сохранением истории воздействия за предыдущие периоды. Семенной картофель от агробиотера (НИИСХ «Белогорка») высаживали по предшественнику многолетние травы. Минеральные удобрения вносили в соотношении min-opt-max NPK 0–300–800 (д. в., кг/га). Избыточное минеральное питание изменяло способность формировать клубни растениями следующего поколения. Отдельные сортообразцы, в которых содержание нитратов превышало ПДК, формировали лучшую продуктивность посадкой таких клубней. Для большинства сортообразцов была характерна лучшая сохранность клубней и лучшие урожайные свойства от растений из клубней с содержанием нитратов не превышающим ПДК более, чем в 2 раза, чем тех же, полученных в контроле. Содержание нитратного азота выше 500 мг/кг сыр. в-ва, влияло негативно. Методом корреляционного анализа было показано, что «общее число клубней на растение» не зависело от условий превегетации или биохимических характеристик клубней. Содержание нитратов в посадочных клубнях имело постэффект, видоизменяя признак «масса товарного клубня» в следующей генерации. Содержание крахмала, опосредованное высокими дозами удобрений, влияло на рост и развитие растений картофеля в целом. Эффект превегетации может влиять на точность экофизиологического эксперимента. Отдельные сортообразцы могут оказаться чувствительными к воздействию предшествующей среды в пределах пессимумов. Важным критерием качества посадочных клубней являются их биохимические характеристики — содержание крахмала и нитратов. Для опытов с малыми объемами выборки рекомендуется предпосадочный контроль над содержанием нитратов, крахмала для подтверждения экофизиологической однородности клубней в случае использования образцов разного эколого-географического происхождения.

ECOPHYSIOLOGICAL AFTER-EFFECTS OF PESSIMISTIC ENVIRONMENTAL FACTORS ON QUANTITATIVE CHARACTERS OF *SOLANUM TUBEROZUM L.*

Lykova N.A.

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

Keywords: mineral nutrition, potatoes, ecological after-effects, prevegetation period

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

Лянгузова И.В.*, Катютин П.Н.

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

*E-mail: ILyanguzova@binran.ru

Ключевые слова: аэroteхногенное загрязнение, сосновые леса, северная тайга, изменение климата, радиальный прирост

Оценка интенсивности продукционного процесса деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей по градиенту техногенного загрязнения, осуществлена на основе измерения радиального прироста ствола за два периода наблюдений с высокими (1980–1999 гг.) и сниженными (2000–2019 гг.) объемами атмосферных выбросов SO₂ и полиметаллической пыли комбината «Северонikel» (Мурманская обл.). Одновременно проведен регрессионный анализ ряда климатических параметров (среднегодовая температура; среднемесячная и сумма температур за вегетационный сезон (май – октябрь); среднегодовое количество осадков; среднемесячное и суммарное количество осадков за вегетационный сезон) по данным метеостанции г. Ковдор, который выявил значимый положительный тренд всех температурных параметров, а также среднегодового количества осадков за период 1952–2020 гг.

Сравнительный анализ показал различия в реакции радиального прироста на снижение аэroteхногенной нагрузки. В фоновом районе во второй период произошло достоверное уменьшение радиального прироста в среднем в 2 раза по отношению к первому периоду, оно обусловлено увеличением возраста дерева вследствие возрастания диаметра ствола. На территории буферной зоны достоверные различия отсутствуют, а в пределах импактной зоны зарегистрировано почти 3-кратное увеличение радиального прироста, причем в настоящее время радиальный прирост стволов сосны из этой зоны в 1.5 раза превышает таковой из фонового района.

Сопоставление трендов динамики радиального прироста и различных параметров температуры показывает, что они направлены в противоположные стороны, что и объясняет значимые отрицательные связи между этими параметрами в фоновом районе и в буферной зоне. Это свидетельствует о дивергенции радиального прироста сосны в ответ на возрастание температуры. На территории импактной зоны наблюдается неоднозначная картина: связь между радиальным приростом и различными температурными параметрами может быть значимо отрицательной, незначимой, либо значимо положительной.

Таким образом, можно заключить, что снижение объемов выбросов загрязняющих веществ является главным фактором в интенсификации ростовых процессов и обуславливает возрастание продуктивности стволовой древесины сосны обыкновенной.

INFLUENCE OF AEROTECHNOGENIC POLLUTION AND CLIMATE ON THE PRODUCTIVITY OF SCOTS PINE WOOD ON THE KOLA PENINSULA

Lyanguzova I.V., Katyutin P.N.

V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Keywords: airborne pollution, pine forests, northern taiga, climate change, radial growth

МЕЗОФИЛЬНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ РАСТЕНИЙ ЯКУТИИ

Максимов А.П.*, Григорьев М.Р., Максимов Т.Х.

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

*E-mail: ayal01@yandex.ru

Ключевые слова: ассимиляция CO₂, устьичная проводимость, мезофильная проводимость

Известно, что устьичная проводимость листа (gs) и ее контроль над ассимиляцией CO₂ (A) нуждается в проверке через активность клеток мезофилла и межклеточного потока CO₂, так как мезофильная проводимость (gm) играет главную роль в лимитировании A для многих видов растений, что приводит также к видимой корреляции A с gs вследствие влияния мезофилла и большой разности значений gm и gs в пользу последней при их одинаковой величине. В экологических практических исследованиях gm общепринято рассчитывается как простое отношение A/C_i (межклеточная концентрация CO₂) без учета фотодыхания, и теоретически может быть представлена как баланс проводимостей от C_i к хлоропласту через межклеточное воздушное пространство, клеточную стенку и жидкую фазу внутри клетки. Моделирование gm в настоящее время не имеет успеха, в силу неоднородности пути CO₂ к хлоропласту и комплексного влияния различных факторов, в т. ч. лабильности самой gm .

Для разных видов экологических групп растений Якутии (на примере многолетних суточных измерений лиственницы, березы и бруслики за 2002–2024 годы) показано, что взаимосвязь A с gm всегда существенно сильнее, нежели с gs (коэффициенты детерминации R² регрессионных моделей >0,9 и до ≈0,7 соответственно), будучи практически прямолинейной зависимостью, что свидетельствует о доминантной роли gm в регуляции A . В то же время средние значения gm довольно близки и крайне малы для исследованных видов (0,01–0,02 моль м⁻² с⁻¹), равно как и их среднемаксимальные значения (0,04–0,07 моль м⁻² с⁻¹), что по литературным данным лежит в пределах самого низкого диапазона значений для вечнозеленых голосеменных и CAM-растений. При этом, значения gs многократно превышают таковые gm — в среднем от 11 до 43 раз в зависимости от вида растения, при несущественном R² (0,2–0,6) между gs и gm , что свидетельствует о тривиальном суммарном влиянии gs на A . Первичная регуляция gm подтверждается также значительным выравниванием динамики и сглаживанием пиков A , скорректированной по gm , относительно коррекции по gs . Вид (экологическая группа) растения не отражается специфически на взаимосвязь A - gm , следовательно, аппроксимация A - gm с R² >0,9 может служить также индикатором релевантности данных A и C_i , независимо от вида растения.

MESOPHILIC CONDUCTIVITY IN ECOLOGICAL RESEARCH OF YAKUTIA PLANTS

Maximov A.P., Grigoriev M.R., Maximov T.Ch.

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: CO₂ assimilation, stomatal conductivity, mesophilic conductivity

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ *PUNICA GRANATUM* К ЗАСОЛЕНИЮ

Алиева З.М.^{1*}, Алибегова А.Н.², Saidova С.Б.³

¹ Дагестанский государственный университет, Махачкала, Россия

² Горный ботанический сад ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия

³ Дагестанская селекционная опытная станция виноградарства и овощеводства — филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», Дербент, Россия

*E-mail: zalieva@mail.ru

Ключевые слова: гранат, *Punica granatum* L., ризогенез, стеблевые черенки, солеустойчивость, перекисное окисление липидов

В связи с широким распространением засоленных почв актуальным является выявление устойчивых сортов культурных растений, что особенно значимо для древесных с большой длительностью онтогенеза. Целью наших исследований была оценка устойчивости граната (*Punica granatum* L.) сортов Агдашский, Бала-Мюрсаль, Закатальский, Шоулянский, Азербайджанский красный к NaCl-засолению с использованием в качестве моделей его одревесневших стеблевых черенков. Активность к ризогенезу у черенков имела сортовую специфику. Так, в контрольном варианте корни формировали от 40% (сорт Агдашский) до 80% (сорт Закатальский и Бала-Мюрсаль) черенков. Наиболее ранним укоренением характеризовался сорт Азербайджанский красный, у которого корни на черенках контроля и варианта 10 mM NaCl были отмечены через 4 недели культивирования, наиболее поздним — сорт Шоулянский. Интенсивность развития корней снижалась в условиях засоления и зависела от концентрации соли. Наибольшей интенсивностью снижения ризогенеза на засолении характеризовался сорт Шоулянский, у которого в варианте NaCl 40 mM корни вообще не формировалась. Существенных различий в отношении длины новообразованных корней на черенках у сорта Агдашский между контрольным и опытным вариантами отмечено не было, а у сорта Шоулянский выраженное снижение размеров корней по сравнению с контролем происходило уже в условиях 20 mM-засоления. Различались варианты и по темпам и интенсивности побегообразования, однако на эти показатели засоление имело менее выраженный эффект, чем на ризогенез черенков. Морфологические изменения в условиях засоления сопровождались изменениями в активности процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в тканях листьев, что особенно выраженно возрастило у сорта Закатальский. Таким образом, отмечена сортовая специфика изменения активности регенерационных процессов и ПОЛ у черенков граната на засолении, в качестве селективных для выявления устойчивых и чувствительных сортов можно выделить концентрации 20–40 mM NaCl.

Благодарности: Авторы выражают благодарность Дагестанской селекционной опытной станции виноградарства и овощеводства — филиалу ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия» (Дербент, Россия) за предоставленный для исследований материал.

ASSESSMENT OF *PUNICA GRANATUM* RESISTANCE TO SALINITY

Alieva Z.M.¹, Alibegova A.N.², Saidova S.B.³

¹ Dagestan State University, Makhachkala, Russia

² Mountain Botanical Garden DFRC RAS, Makhachkala, Russia

³ Dagestan Selection Experimental Station of Viticulture and Vegetable Growing — branch of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking, Derbent, Russia

Keywords: pomegranate, *Punica granatum* L., rhizogenesis, stem cuttings, salt tolerance, lipid peroxidation

РОСТ, ФОТОСИНТЕЗ И ДЫХАНИЕ ЛИСТОВОГО САЛАТА В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МИКРОПЛАСТИКОМ

Икконен Е.Н.^{1,2*}, Репкина Н.С.¹, Бахмет О.Н²

¹Институт биологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия;

²Отдел комплексных научных исследований КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия
E-mail:likkonen@gmail.com

Ключевые слова: *Lactuca sativa*, сополимер, цинк, биомасса

Считается, что микропластик распространен в большей степени в водных объектах, чем в почвах, однако, его накопительный эффект в последних более выражен, создавая угрозу здоровью людей при сельскохозяйственном использовании почвы. Загрязнение агропочв микропластиком нередко сопровождается повышенными уровнями в ней тяжелых металлов, что может оказывать не только синергическое, но и антагонистическое воздействие на растения в зависимости от состава микропластика, вида культуры, типа почв и других факторов. Целью данной работы являлась оценка влияния микропластика на основные физиологические параметры растений листового салата на фоне контрастных уровней цинка в почве.

Сополимер бутадиена, метилстирола и метакриловой кислоты с размерами частиц 150–180 нм был выбран в качестве модельного пластика. Растения *Lactuca sativa* L. выращивали в контролируемых условиях в почвенном субстрате, содержащем 0, 0.01, 0.03 или 0.1% пластика, а также 0 или 1000 мг kg^{-1} $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Загрязнение почвы цинком в большей степени, чем загрязнение пластиком негативно отразилось на физиологических процессах растений салата. Высокое содержание ионов цинка модифицировал реакцию дыхательного метаболизма на микропластик, а кумулятивный эффект обоих поллютантов проявился на параметрах роста растений. Содержание пластика в почве ингибировало скорость фотосинтеза, рассчитанную на единицу массы листа, и накопление растениями биомассы в надземной части. Отклик фотосинтеза на микропластик не зависел от концентрации в почве тяжелого металла и был во многом обусловлен как раздельным, так и совместным влиянием поллютантов на содержание хлорофилла. Высокая концентрация пластика в почве усиливала интенсивность дыхания листьев, способствуя смещению углеродного баланса растений в сторону его потерь. Последнее могло быть причиной снижения продуктивности листового салата в условиях загрязнения почвы микропластиком. Таким образом, результаты продемонстрировали негативное влияние присутствия микропластика в почве на растения, однако в основном такой эффект наблюдается при его высоком уровне содержания, аномальном для естественных экосистем настоящего времени.

Работа выполнена при поддержке РНФ, № 25-16-00264.

GROWTH, PHOTOSYNTHESIS AND RESPIRATION OF LETTUCE UNDER CONDITIONS OF SOIL POLLUTION WITH MICROPLASTICS

Ikkonen E.N.^{1,2}, Repkina N.S.¹, Bakhet O.N.²

¹Institute of Biology, KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia;

²Department of Complex Scientific Research, KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia

Keywords: *Lactuca sativa*, copolymer, zinc, biomass

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ОТДАЛЕННЫХ ГИБРИДОВ ГОРОХА РАЗЛИЧНОГО МОРФОТИПА

Башкирова К.А.*, Бобков С.В.

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

*E-mail: xeni43339@gmail.com

Ключевые слова: морфотип, масса 1000 семян, число семян, масса семян, $K_{хоз}$

Современные сорта гороха преимущественно представлены безлисточковым морфотипом, который контролируется рецессивным аллелем *afla* (*af*). В различные периоды в программах селекции гороха использовали рецессивные аллели *det* (детерминантный морфотип), *fa* (фасцированный стебель), *def* (неосыпающиеся семена). Также представляет интерес для селекционной работы комбинация аллелей *det fa* (морфотип «люпиноид»). Наличие у растений того или иного рецессивного аллеля (или их комбинации) по-разному влияет на признаки семенной продуктивности.

Цель исследования состояла в определении влияния рецессивных аллелей *af*, *det*, *fa*, *def* в гомозиготном состоянии и соответствующих им морфотипов растений гороха на элементы семенной продуктивности — массу растения, число и массу семян с растения, $K_{хоз}$ и массу 100 семян.

Отдаленные гибриды гороха получены в результате скрещивания растений селекционной линии АУ 153–06 морфотипа «люпиноид» и дикорастущего образца к-3370 (*Pisum sativum ssp. elatius*). Исследования проводили в 2023–2024 гг. в популяциях отдаленных гибридов гороха F_3 , F_4 и F_5 АУ 153–06×к-3370. Анализировали 95 растений, из них 43, 40 и 12 гибридов относились к поколениям F_3 , F_4 и F_5 соответственно. Гибридные растения характеризовались отсутствием ветвления. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием многофакторного дисперсионного анализа.

Безлисточные и фасцированные гибриды, а также растения морфотипа «люпиноид» не отличались по массе от растений обычного типа. При этом у гибридов с неосыпающимися семенами масса растения составляла 12,1 г, что на 3,3 г выше, чем у гибридов с нормальными семенами ($p=0,0514$). Фасцированные гибриды и «люпиноиды» по признаку «число семян с растения» превышали контроль на 10,6 и 10,5 шт. соответственно ($p=0,065$ и $p=0,057$). Гибриды с неосыпающимися семенами имели массу семян с растения 4,6 г и существенно превышали контроль на 1,7 г ($p=0,0093$). Эти гибриды также отличались повышенной массой 1000 семян ($p=0,0358$). Люпиноиды и гибриды с фасцированным стеблем существенно отличались от контроля более высокими значениями $K_{хоз}$ ($p=0,0003$ и $p=0,0162$ соответственно).

Исследование проведено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЗБК по разделу FGZZ-2025-0014 «Физиолого-биохимическое изучение генетических ресурсов зернобобовых и крупяных культур для использования в селекционном процессе».

SEED PRODUCTIVITY OF DISTANT PEA HYBRIDS OF VARIOUS MORPHOTYPES

Bashkirova K.A., Bobkov S.V.

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

Keywords: morphotype, 1000 seeds weight, number of seed, seed weigh, yield indicators

СТРУКТУРА БОКОВЫХ КОРНЕЙ ЛУКА И ЧЕСНОКА И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ АЗОТНОГО ЦИКЛА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА АЗОТА

Бетехтина А.А.*¹, Малева М.Г.¹, Воропаева О.В.¹

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: betechtina@mail.ru

Ключевые слова: *Allium cepa*, *Allium sativum*, азотфиксаторы, денитрификаторы, аммонификаторы, нитрификаторы

Важнейшим вектором развития сельского хозяйства является селекция культурных растений с признаками строения корней, способных эффективно поглощать азот из почвы, с целью снижения экономических затрат и экологических рисков применения азотных удобрений. В свою очередь, строение корней определяет обеспеченность ризобиома углеродсодержащими соединениями, что влияет на количество и функциональный состав микроорганизмов.

Изучено строение боковых корней и проведена количественная оценка бактерий азотного цикла в ризосфере лука (*Allium cepa* L., сорт «На зелень») и чеснока (*A. sativum* L., сорт «Памяти Новичкова»), выращенных из семян в течение 72 дней при естественном освещении и комнатной температуре на малоплодородном субстрате (вариант «-N»), полученном из дерново-подзолистой почвы, песка, глины и торфа (2:1:1:1, по объему). Через 14 дней после посева во все вегетационные сосуды (1,2 л) однократно вносили фосфор в виде раствора монокальцийфосфата (20 мг Р/кг почвы). Кроме того, в половину экспериментальных сосудов был двукратно (с разрывом в 2 недели) добавлен азот в концентрации 30 мг N/кг почвы в форме нитрата аммония (вариант «+N»).

Исследования показали, что оба представителя рода *Allium* имели общий план внутреннего строения поглощающих корней, однако различались по комплексу количественных признаков. У *A. sativum* по сравнению с *A. cepa* в варианте «+N» диаметры корня и стелы были значимо больше, однако, несмотря на это, доля стелы в площади поперечного сечения корня достоверно не различалась и составляла в среднем 3,2%. В варианте «-N» строение корней у *A. sativum* в отличие от *A. cepa* изменялось: их диаметр уменьшался в основном за счет изменения размеров стелы. Анализ количества бактерий, выполняющих разные функции в азотном цикле, в ризосфере исследуемых видов во всех вариантах, показал значимое преобладание азотфиксаторов по сравнению с аммонификаторами и нитрификаторами. Их количество в ризосфере лука и чеснока в «+N» — варианте составляло $1,07 \times 10^7$ и $0,58 \times 10^7$ КОЕ/г сухой почвы, и снижалось в отсутствие азота в 1,6 и 4,8 раз, соответственно. Количество денитрификаторов в ризосфере лука примерно соответствовало количеству азотфиксаторов, но при этом было на порядок выше по сравнению с чесноком, что, вероятно, могло негативно влиять на накопление азота в биомассе растений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №24-26-00248, <https://rscf.ru/project/24-26-00248/>.

STRUCTURE OF LATERAL ROOTS OF ONION AND GARLIC AND QUANTITATIVE ASSESSMENT OF RHIZOSPHERIC BACTERIA OF THE NITROGEN CYCLE UNDER NITROGEN DEFICIENCY CONDITIONS

Betechtina A.A., Maleva M.G., Voropaeva O.V.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Keywords: *Allium cepa*, *Allium sativum*, nitrogen fixers, denitrifiers, ammonifiers, nitrifier

ГОРНОЕ МЕРЗЛОТНОЕ БОЛОТО С КАРЛИКОВЫМИ ЛИСТВЕННИЦАМИ КАЯНДЕРА: МОНИТОРИНГ КИСЛОРОДА И ТЕМПЕРАТУР ВОДЫ

Алфимов А.В., Берман Д.И., Бочарова У.И.

ИБПС ДВО РАН, Магадан, Россия,
E-mail: ulyana.bocarova@gmail.com

Ключевые слова: болото, лиственница Каяндра, кислород, температура, мониторинг

На горных мерзлотных болотах СВ Азии лиственница Каяндра нередко имеет карликовые размеры: высота 0,4–1,5 м, диаметр до 10 см при возрасте до 250 лет. На подобном болоте у Магадана был разбит полигон 65 x 35 м; в узлах сетки (5 x 5 м) в торф установили 15 перфорированных труб диаметром 3,2 см. Через них в воду погружали датчик оксиметра с термометром (точность 0,2 мг/л и 0,1°C). Измерения проводили в июле-октябре 2023 и 2024 гг. В сентябре 2024 г. по сетке 1 x 0,5 м измерена глубина СТС и с помощью нивелира построен микрорельеф мерзлотного водоупора, имеющий вид «террас» и «склонов» разной крутизны. Болото расположено на высоте 240 м н. у. м., уклон поверхности 3,5°, ВСВ; лишайниково-мохово-кустарничковый покров; СТС — до 1 м; торф, pH 4,5–4,9; на 100 м² в среднем 6 карликовых лиственниц. Уровень воды зависел от мощности СТС и количества осадков, варьировал в пределах 5–15 см от поверхности. Корни лиственниц (диаметр от 2,4 см у комля) находились в этом же интервале, т.е. часть времени они были в сырье торфе, часть — в воде.

В воде над «террасами» содержание кислорода всегда было нулевым (в пределах чувствительности прибора), температуры 2,1–7,4°C, и при высоком уровне корни были в воде с дефицитом кислорода; на крутых «склонах» содержание кислорода варьировало в пределах 5–8,1 мг/л при температурах 4–5,2°C, на пологих — в сухой период опускалось до нуля, сразу после дождей достигало 10 мг/л, а через 1–2 дня снова падало до нуля при температуре 2,2–6,5°C. Источник оксигенации — сток осадков и вод от таяния мерзлоты с прилежащего склона (10–18°, СВ; органогенный горизонт 15–40 см, глубже делювий с валунами; лиственничный лес высотой около 12 м). Здесь из 24 измерений содержания кислорода в трубах лишь два были низкими (0 и 1,4 мг/л), остальные — более 6,4, треть их больше 10 мг/л; 20 из 24 значений температуры были ниже 2,1°C.

Таким образом, выявлена высокая изменчивость температуры и содержания кислорода в мерзлотном болоте. Варьирование содержания кислорода связано с микрорельефом водоупора, не совпадающим с микрорельефом дневной поверхности. Оно сохраняется при сухой погоде, после дождей и при меняющейся мощности СТС в разные фенологические сроки. Феномен должен учитываться при изучении подобных экосистем.

Благодарности. Мы признательны профессору А. В. Смагину (МГУ) за консультации.

MOUNTAIN PERMAFROST BOG WITH DWARFISH CAYANDER LARCH: MONITORING OF OXYGEN AND WATER TEMPERATURES

Alfimov A.V., Berman D.I., Bocharova U.I.

IBPN FEB RAS, Magadan, Russia,

Keywords: bog, Cayander larch, oxygen, temperature, monitoring

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОСНОВНЫХ ГИНЗЕНОЗИДОВ В ЛИСТЬЯХ И КОРНЯХ ЖЕНЬШЕНЯ (*Panax Ginseng C. MEYER*) *IN SITU* И В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ

Маханьков В.В.¹, Бурундукова О.Л.^{2,*}

¹ Тихоокеанский институт биоорганической химии ДВО РАН, Владивосток, Россия,

² Федеральный научный центр Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия,

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

Ключевые слова: гинзенозиды, протопанаксадиол, протопанаксатриол, *Panax ginseng*

Гинзенозиды являются характеристическими, биологически-активными веществами женьшения с широким спектром действия. Физиологическая роль гинзенозидов для самого женьшения остается не вполне понятной. Обобщены результаты многолетних исследований содержания гинзенозидов в растениях женьшения *in situ* и *ex situ* в условиях Приморья. Содержание основных гинзенозидов определено методом ВЖХ анализа более чем в 300 образцов листьев, корней и плодов женьшения, включая образцы фракционирования подземной сферы на части (корневище, главный, придаточный, боковой корни) и ткани (эпидермис, перицерму, флоэму и ксилему). Цифровой материал базы данных содержания гинзенозидов женьшения Приморья проанализирован согласно классическому делению на формы внутривидовой изменчивости: эндогенную, индивидуальную, возрастную, сезонную, экологическую, популяционную, географическую. Оценены пределы варьирования содержания в расчете на грамм сухого веса и коэффициенты вариации (CV). Гинзенозиды в растении женьшения распределены неоднородно. Содержание гинзенозидов в листьях в 2–3 раза превышает их содержание в корне. Данные по содержанию гинзенозидов в корнях дикого и культивируемого женьшения противоречивы. Принято считать, что дикие корни содержат больше гинзенозидов, чем плантационные. Наши исследования показали, что, содержание суммы основных гинзенозидов в главном корне дикого женьшения варьирует от 9 до 25 мг/г сухого веса, в тонких корнях от 31 до 65 мг/г сухого веса. У культивируемых растений главный корень имеет большую толщину и содержание в нем гинзенозидов существенно меньше 5–14 мг/г, в тонких корнях незначительно отличается от дикого 30–56 мг/г сухого веса. Учитывая, что основные гинзенозиды являются гликозидами даммарановых тритерпеноидов — протопанаксадиола (группа — Rb) и протопанаксатриола (группа — Rg), мы исследовали соотношение суммарного количества этих групп (Rg/Rb) и обнаружили более выраженные различия. У дикорастущего (Rg/Rb) в главном корне варьирует в диапазоне 0,46–0,9, у культивируемого — (Rg/Rb) в главном корне варьирует в диапазоне 0,8–2,2. Исследование закономерностей внутривидовой изменчивости содержания и качественного состава гинзенозидов расширяет наши представления о их роли в физиологии редкого реликтового вида, в адаптации к условиям местообитаний *in situ* и *ex situ*.

VARIABILITY OF CONTENT AND QUALITATIVE COMPOSITION OF MAJOR GINSENOSES IN LEAVES AND ROOTS OF GINSENG (PANAX GINSENG C. MEYER) IN SITU AND UNDER ARTIFICIAL PLANTATION CONDITIONS

Makhankov V.V.¹, Burundukova O.L.²

¹Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

²Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Keywords: ginsenosides, protopanaxadiol, protopanaxatriol, Panax ginseng

ВЗАИМОСВЯЗЬ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И СИМБИОТИЧЕСКОЙ АЗОТФИКСАЦИИ У ГОРОХА И ЧЕЧЕВИЦЫ

Гурьев Г.П.

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

E-mail: gurievorel@mail.ru

Ключевые слова: симбиотическая азотфиксация, клубеньковые бактерии, биопрепараты

Симбиотическая азотфиксация на горохе и чечевице страдает особенно сильно от недостатка влаги в почве и высокой температуры воздуха. При ГТК (гидротермический коэффициент) меньше 1,0 процессы формирования клубеньков на корнях заметно ослабеваются, а период их функционирования сокращается. Многолетние испытания микробиологических препаратов на основе разных штаммов клубеньковых бактерий на сортах гороха Фараон, Спартак, Софья и Стабил показали, что в годы аномальные по дефициту влаги и высокой температуры воздуха, наблюдается деструкция клубеньков и их ранний лизис. Попутно отмечено, что к губительному действию недостатка влаги и высокой температуры на симбиотический аппарат присоединяется также и массовое размножение клубеньковых долгоносиков, которые полностью уничтожают уже сформированные клубеньки.

Негативное действие экстремальных климатических факторов может быть частично снято правильным выбором предшественника. В наших опытах с горохом симбиотическая азотфиксация, начиная с образования клубеньков, отсутствовала полностью при размещении гороха по чёрному пару. А при возделывании гороха по озимой пшенице образование клубеньков было хорошим, даже с минеральным азотом.

Аналогичные результаты получены и в опытах с чечевицей при испытании разных биопрепаратов, таких как ризобин^{агро}, микробиоком^{агро}, аурилл, экобацилл. Установлено, что эффективность применения микробиологических препаратов на основе азотфиксирующих клубеньковых бактерий зависит от погодных и почвенных условий в период формирования симбиотического аппарата, от предшественника и биологических особенностей самой культуры. В условиях водного дефицита уже сформированные клубеньки имеют низкую эффективность. Но даже и в таких условиях отмечена сортовая отзывчивость на применение биопрепаратов. Наиболее отзывчивыми оказались сорта чечевицы Фламенко и Восточная.

RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATIC CONDITIONS AND SYMBIOTIC NITROGEN FIXATION IN PEAS AND LENTILS

Guryev G.P.

Federal Scientific Center for Legumes and Cereal Crops, Orel, Russia

Keywords: symbiotic nitrogen fixation, nodule bacteria, biopreparations

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ КАК ПРИЕМ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ НУТА

Донская М.В.

ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», Орел, Россия
E-mail: nmaria_87@mail.ru

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

Для увеличения посевных площадей под нетрадиционными засухоустойчивыми зернобобовыми культурами, такими, например, как нут и чина, помимо создания новых сортов, необходима разработка агротехнических приемов возделывания, способных сгладить негативное влияние окружающей среды, повысить иммунитет растений, создать условия для их ускоренного роста и развития, а также улучшить фитосанитарное состояние почв, повышая численность полезной микробиоты и плодородие почвы. Таким приемом может стать предпосевная инокуляция семян микробиологическими препаратами на основе высокоэффективных штаммов ризобий и препаратов комплексного действия, включающих свойства биоудобрений и фунгицидов. В связи с этим изучена возможность комплексного применения препаратов на основе азотфикссирующих клубеньковых бактерий и микроорганизмов — антагонистов фитопатогенов. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в условиях Орловской области на темно-серых лесных почвах. Опыт включал контроль и варианты с предпосевной инокуляцией семян специфическими азотфикссирующими бактериями *Mesorhizobium ciceri* (штамм 522), двойную предпосевную обработку семян препаратами Ризобин^{агро} + Аурилл и Ризобин^{агро} + Экобацил. Микробиологические препараты были получены из ВНИИСХ микробиологии (г. Санкт-Петербург) и НИИСХ Крыма (г. Симферополь).

В результате проведенных исследований установлено, что изученные препараты оказывали ростостимулирующее действие на растения нута в первой половине вегетации (наблюдалось существенное увеличение биомассы и высоты растений, на корнях формировался хорошо развитый симбиотический аппарат), которое впоследствии нивелировалось почвенно-климатическими условиями. Максимальное число клубеньков на корнях формировалось у нута в вариантах с двойной обработкой препаратами Ризобин^{агро} и Аурилл и инокуляцией азотфикссирующими бактериями *Mesorhizobium ciceri* (штамм 522) — 11–14 шт./раст. Наиболее крупные клубеньки формировались в варианте с *Mesorhizobium ciceri* (штамм 522). В среднем за 2023–2024 гг. предпосевная инокуляция семян микробными препаратами способствовала повышению урожайности зерна нута. Наибольшая урожайность отмечена у сорта Аватар в варианте с применением препаратов Ризобин^{агро} и Экобацил (4,6 т/га, +0,3 т/га к контролю).

MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS AS A METHOD OF INCREASING CHICKPEA YIELD

Donskaya M.V.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Legumes and Cereal Crops», Orel, Russia

Keywords: variety, chickpea, inoculation, nodules, yield

РОСТ РАСТЕНИЙ ЧИНЫ В СМЕШАННЫХ ПОСЕВАХ

Донской М.М., Наумкин Д.В.

ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур», Орел, Россия
E-mail: dmitriy.naumkin.00@mail.ru

Ключевые слова: чина, смешанные посевы, длина стебля

Чина посевная — культура многоцелевого значения. Ее используют для кормовых, продовольственных и технических целей. Чина является хорошим медоносным растением. Однако по своим морфологическим особенностям растения чины имеют стебель склонный к полеганию. Известно, что в смешанных посевах, где подсеваемая культура является поддерживающей, растения основной культуры не полегают. В связи с этим цель исследований заключалась в изучении особенностей роста растений чины в смеси с другими зерновыми культурами. Исследования проводили на опытных полях ФГБНУ ФНЦ ЗБК. Основная культура — чина посевная (сорта Славянка, Састица и образцы к-1848, к-615706). Посев сеялкой СКС-6–10 с шириной междурядий 15 см. Площадь делянки 10 м², повторность 4-кратная. Метод размещения вариантов в полевом опыте систематический. Норма высева чины в чистом посеве 1,0 млн. всхожих семян на га. Схема опыта включала контроль (чистый посев чины) и варианты с подсевом ячменя 1/1, овса 1/3 и горчицы 1/7, подобранными в соответствии с биологическими особенностями культур.

Поддерживающая роль подсеваемых культур стала наиболее заметной в период цветения, к этому времени растения чины накопили достаточно большую биомассу, и значительно увеличилась их высота. Так в этот период длина стебля чины в чистом посеве варьировала от 53,2 см (к-1848) до 65,3 см (Славянка). В варианте с подсевом ячменя длина растений чины была выше по сравнению с контролем на 2,2–4,7%, в варианте с подсевом овса — на 4,6–17,3%, с подсевом горчицы — на 2,6–9,2%. Самыми высокорослыми были растения образца к-1848 в варианте с подсевом овса — 73,1 см.

В период плodoобразования длина стебля растений чины в чистом посеве колебалась от 65,6 см (Састица) до 77,2 см (Славянка). В варианте с подсевом ячменя наблюдалось увеличение длины растений от 3,8 до 14,0%, в варианте с подсевом овса — от 7,2 до 18,3%; в варианте с горчицей — от 0,6 до 18,3%. Наиболее высокорослыми были растения сорта Славянка в варианте с подсевом горчицы — 91,3 см. Аналогичная тенденция сохранялась и в дальнейшем. Таким образом, возделывание чины в смешанных посевах приводит к увеличению длины стебля растений и способствует повышению ее технологичности.

GROWTH OF VINEYARD PLANTS IN MIXED CROPS

Donskoy M.M., Naumkin D.V.

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center of Legumes and Cereal Crops», Orel, Russia

Keywords: vetch, mixed crops, stem length

ПРОДУКТИВНОСТЬ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И КУСТАРНИКОВОГО ЯРУСА ЛИСТВЕННИЧНЫХ ЛЕСОВ БРУСНИЧНОЙ ГРУППЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

Ефимова А.П., Алексеев К.В., Слепцов А.А.

ИБПК СО РАН, г. Якутск, Россия

*E-mail: aytaef@yandex.ru

Ключевые слова: лиственничные леса, фитомасса, продуктивность, Якутия

Для определения запасов и структуры органического материала, аккумулированного в лиственничных (*Larix cajanderi* Mayg) лесах Центральной и Юго-Восточной Якутии, проведено изучение надземной и подземной фитомассы напочвенных покровов и кустарниковых ярусов брусничного и арктоусово-брусничного типов леса. Исследования проводились в соответствии с методическими рекомендациями ЦЭПЛ РАН (Методические..., 2024). На научной лесной станции «Эльгээйи» (Юго-Восточная Якутия) в брусничных лиственничниках средневзвешенная надземная фитомасса напочвенного покрова с подлеском составляет 2,958 т/га, подземная — 12,824 т/га. Отношение подземной части к надземной — 3,7:1. Годичная продукция — 0,456 т/га/год. Зеленая ассимилирующая часть занимает 69,5% от надземной части, от общей — 13,0%. В структуре зеленой части преобладают цветковые растения (92,3%), роль мохообразных и лишайников незначительна — 7,7%. В видовой структуре фитомассы преобладает брусника обыкновенная (*Vaccinium vitis-idaea* L.), её средневзвешенная доля в надземной фитомассе составляет 76,2%. Отношение массы подстилки к надземной фитомассе — 6:1, к годичной продукции — 41:1, что свидетельствует о крайней замедленности разложения органических остатков, малых размерах годичного прироста. На научной лесной станции «Спасская падь» (Центральная Якутия) в арктоусово-брусничных лиственничных лесах надземная фитомасса составляет 2,098 т/га, подземный запас — 11,122 т/га, что ниже соответственно на 29,1 и 13,3%, чем на станции «Эльгээйи». Отношение подземной части к надземной — 5,3:1. Зеленая ассимилирующая часть занимает 69,5% от надземной, в ней преобладают высшие сосудистые растения (85,3%), мохообразные занимают 12,80%. Годичная продукция составляет 0,620 т/га/год. В её структуре преобладают цветковые растения (88,9%), доля мхов — 10,6%. Отношение подземной фитомассы к надземной составляет 5:1, что несколько ниже, чем на станции «Эльгээйи». Отношение подстилки к надземным запасам — 7,5:1, к годичной продукции — 25:1. Наибольшая аккумуляция запасов надземной фитомассы констатируется у брусники, её доля от общей — 62,2%, у арктоуса красноплодного (*Arctous erythrocarpa* Small) в 3 раза меньше — 21,6%. Мхи занимают 8,9% от надземной продукции.

Установлено, что в структуре фитомассы нижних ярусов исследованных лесов преобладает подземная часть. Основной вклад в продукцию вносят цветковые растения. Установлено замедленное разложение органического материала, о чем свидетельствует отношение массы подстилки к надземной фитомассе и к годичной продукции. Различия между значениями фитомассы разных районов отражают влияние экологических условий на продуктивность и структуру растительных сообществ.

Выражаем глубокую благодарность д. б. н. Т.Х. Максимову, к. б. н. Р.Е. Петрову за организацию экспедиционных работ. Также аспиранту М.Р. Григорьеву и к. б. н. А.Г. Шепелеву за помощь в полевых и камеральных работах.

Работа выполнена в рамках реализации государственного проекта «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пуль углерода и потоков парниковых газов на террито-

рии Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031–6).

PRODUCTIVITY OF THE GROUND COVER AND SHRUB LAYER OF LARCH FORESTS OF THE LINGONBERRY GROUP CENTRAL AND SOUTHEASTERN YAKUTIA

Efimova A.P., Alekseev K.V., Sleptsov A.A.

IBPK SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: larch forests, phytomass, productivity, Yakutia

ОЦЕНКА АДАПТИВНОЙ СПОСОБНОСТИ *PADUS AVIUM* L. В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВОГО КЛИМАТА ЯКУТИИ

Сабарайкина С.М.

ИБПК СО РАН, г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия

E-mail: sabaraikina@mail.ru

Ключевые слова: *Padus avium*, морфология, анатомическое строение листа, мезоморфные признаки, резкоконтинентальный климат.

Изучен морфолого-анатомический состав листьев и сезонная динамика оводненности однолетних побегов черемухи обыкновенной в условиях резкоконтинентального климата Якутии, с целью выявления защитно-приспособительной реакции древесных растений к засухе. Исследования проводились на территории ботанического сада. Были заложены два участка с контрастными гидротермическими условиями почвы. Показано, что при недостаточной влагообеспеченности сильнее развивается проводящая система листа (диаметр проводящего пучка на главной жилке, высокая плотность жилкования) и увеличивается число устьиц (до 525 ед./мм²). Оценка оводненности побегов и водоудерживающей способности выявила, что образцы засушливых условий сильнее реагируют на изменения количества влаги в почве и воздухе (содержание воды колебалась в пределах 45–58% в, водный дефицит в пределах 9–12%, процесс завядания составил до 40%). У образцов в критических условиях наблюдается перегрев листьев, темные пятна на пластиинке, иногда вплоть до полного высыхания. Наиболее уязвимым периодом к действию засухи у исследованных образцов является период цветения.

Работа выполнена в рамках «Растительный покров криолитозоны таежной Якутии: биоразнообразие, средообразующие функции, охрана и рациональное использование» (AAA-A-A21-121012190038-0), с применением оборудования ЦКП ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» (грант № 13. ЦКП. 21.0016).

ASSESSMENT OF THE ADAPTIVE CAPACITY OF *PADUS AVIUM* L. IN THE ARID CLIMATE OF YAKUTIA

Sabaraykina S.M.

IBPK SB RAS, Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia), Russia

Keywords: *Padus avium*, morphology, anatomical structure of the leaf, mesomorphic features, sharply continental climate.

РОД *SPIRAEA* L. КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПОСТАВЩИК ЛЕКАРСТВЕННОГО СЫРЬЯ В ЯКУТИИ

Коробкова Т.С.

ФИЦ ЯНЦ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия
E-mail: korobkova_t@list.ru

Ключевые слова: спирея, ботанический сад, антиоксидантная активность, лекарственный потенциал

Род *Spiraea* в последнее время активно изучается не только как декоративное, но и как перспективное для фармакопеи противовирусное растение, содержащие набор биологически активных веществ с высокой антиоксидантной активностью. На территории России произрастают от 18 до 22 видов спиреи, в том числе, в Якутии — 9 видов. Для разработки препарата из спиреи, прежде всего, необходимо изучение экстрактов из различных частей растения, затем определение максимального содержания БАВ в зависимости от фазы развития, экологических условий произрастания в культуре и естественных ценозах. На территории Ботанического сада ИБПК СОРАН в природных условиях встречаются *Spiraea salicifolia* L., *S. media*, в коллекциях — 15 видов и 3 сорта различного происхождения.

Проведённые поисковые исследования водно-этанольных экстрактов местных видов и спиреи уссурийской, выделившейся своей интродукционной устойчивостью, показали, что концентрация БАВ в тканях исследуемых спирей видоспецифична и различна в листьях и соцветиях. Соцветия содержали больше флавоноидов и катехинов, листья — дубильных веществ. Антиоксидантная активность водных вытяжек была выше, чем водоспиртовых. Возможно, это связано с тем, что ткани спиреи содержат больше антиоксидантов, которые легко растворяются в воде и обеспечивают лекарственные свойства спиреи. Кроме того, эти вещества являются вторичными метаболитами, и повышенное их содержание в каких-либо видах спиреи обеспечивает виду лучшую биохимическую адаптацию в различных экологических условиях. Среди исследованных видов выделились *S. media*. Соцветия содержали 5.0% флавоноидов при колебаниях от 3.2 до 3.5%, листья 2.7%. Листья спиреи иволистной содержали больше дубильных веществ, чем другие виды (15,0%), а спирея средняя накопила больше их в своих соцветиях по сравнению со спиреей иволистной и уссурийской (6.3%). Кроме того, обнаружено, что листья и соцветия *S. media* содержат сквален, обладающий противоопухолевым действием, в количестве от 0,5% до 0,12% от суммы липидов. Наибольшая антиоксидантная активность водной вытяжки обнаружена у спиреи иволистной. Таким образом, лекарственный потенциал ряда видов спиреи подтверждается, а сопряженность ритмов их развития сезонным и погодным условиям Якутии, высокие адаптационные возможности делают виды перспективными для использования как сырье.

GENUS SPIRAEA L. AS A POSSIBLE SUPPLIER OF MEDICINAL RAW MATERIALS IN YAKUTIA

Korobkova T.S.

Federal Research Center YSC Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russia

Keywords: спирея, ботанический сад, антиоксидантная активность, лекарственный потенциал

Секция 4 и 5

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ И ГИБРИДНЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ; ФИТОБИОТЕХНОЛОГИИ В ОТВЕТ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ СОВРЕМЕННОСТИ

НЕИНВАЗИВНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ЗИМНЕГО ПОКОЯ ЛИСТОПАДНЫХ РАСТЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА ИНДУКЦИОННЫХ КРИВЫХ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ХЛОРОФИЛЛА НА ПРИМЕРЕ ЯБЛОНИ (*MALUS × DOMESTICA* BORKH).

Соловченко А.Е.*, Шурыгин Б.М., Конюхов И.В., Хрущев С.С.

E-mail: solovchenkoae@my.msu.ru

Биологический факультет Московского государственного университета имени
М.В. Ломоносова, Москва GSP-1 119234, Россия

Ключевые слова: флуоресценции хлорофилла, яблоня, *Malus × domestica* Borkh

В состоянии покоя (dormancy) многолетние растения — обитатели регионов с выраженной сезонностью климата могут переживать длительные периоды неблагоприятных условий. Выделяют периоды предварительного, физиологического и вынужденного покоя. В период предварительного покоя завершаются генетические, физиолого-биохимические и морфологические перестройки, увеличивающие стресс-толерантность растения. Физиологический или глубокий покой характеризуется неспособностью меристем к возобновлению деления клеток даже в благоприятных условиях. Под действием сигналов окружающей среды растения переходят от глубокого покоя к вынужденному, в котором деление клеток и рост сдерживаются неблагоприятными условиями среды. Участившиеся климатические флюктуации приводят к аномальному выходу из покоя, повышая риск повреждения растений, особенно культурных, неблагоприятными факторами среды. В этой связи важны методы неинвазивного объективного мониторинга состояния покоя растений в реальном времени. Однако исследования в этой области сдерживаются отсутствием автоматизированных неинвазивных методов мониторинга состояния покоя растений.

Разработана простая автоматическая система для непрерывного онлайн-мониторинга состояния покоя листопадных древесных растений. Система основана на непрерывном измерении фотосинтетической активности побегов с помощью датчиков индукционных кривых флуоресценции хлорофилла (ФХ) с амплитудно-импульсной модуляцией, подключенных по радиоканалу к серверной системе обработки данных. Полученные в течение трехлетнего мониторинга временные ряды параметров ФХ с высоким разрешением, были подвергнуты частотному анализу с применением вейвлет-преобразования. Установлено, что времененная динамика удельного потока поглощенной фотосинтетическим аппаратом энергии света, рассеянной в виде тепла (параметра DI_0/RC) связана с глубиной зимнего покоя растений. Предлагаемый подход позволяет

устранить помехи для наблюдений, связанные с суточными изменениями инсоляции, и позволяет обнаружить переход в состояние вынужденного покоя. Метод апробирован в течение трех сезонов в яблоневом (*Malus × domestica* Borkh.) саду путем сопоставления неинвазивных оценок с результатами традиционных методов (отращивание черенков, срезанных с деревьев, пребывающих в разных фазах покоя, и прогнозных моделях, основанных на метеоданных).

Обсуждаются преимущества предлагаемой системы мониторинга, в том числе для обнаружения аномалий зимнего покоя и выявление повреждения побегов заморозками

**NON-INVASIVE PROBING OF WINTER DORMANCY DEPTH
IN DECIDUOUS PLANTS USING FREQUENCY ANALYSIS
OF CHLOROPHYLL FLUORESCENCE INDUCTION CURVES
USING APPLE (*MALUS × DOMESTICA* BORKH) AS AN EXAMPLE**

Solovchenko A.E., Shurygin B.M., Konyukhov I.V., Khrushchev S.S.

Biological faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow GSP-1 119234, Russia

Key words: chlorophyll fluorescence, apple tree, *Malus × domestica* Borkh

САМОЛЕТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ CO₂ НАД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИЕЙ

Алексеева А.В., Григорьев М.Р., Петров Р.Е., Старостин Е.В., Максимов Т.Х.

ФИЦ Якутский научный центр СО РАН,
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
Якутск, Россия
Email: aav1312@mail.ru

Ключевые слова: углекислый газ, фотосинтез, многолетняя мерзлота, углеродный цикл, леса Якутии.

Леса Якутии компенсируют выбросы диоксида углерода через фотосинтез, а также выполняют важнейшую функцию защиты мерзлоты, что способствует стабилизации климата и природных условий криолитозоны. Увеличение среднегодовых температур в Якутии оказывает влияние на эмиссию углекислого газа мерзлотными экосистемами, но также продлевает вегетационный период, что приводит к увеличению поглощения углерода. Самолетные наблюдения вертикальной концентрации в свободной атмосфере над Центральной Якутией направлены на мониторинг изменений динамики содержания диоксида углерода в атмосфере и анализ влияния региональных факторов на углеродный баланс.

Самолетные измерения концентрации диоксида углерода над Центральной Якутией проводятся с 2017 года на различных точках высоты до 3 000 м над лесной научной станцией «Спасская падь», расположенной в 30 км от города Якутска. Данные наблюдений демонстрируют выраженную сезонную динамику — снижение средних значений CO₂ в летний сезон, что связано с фотосинтетической активностью. Концентрации диоксида углерода, зарегистрированные на высоте 34 м в летние месяцы с июня по июль, оказались значительно ниже по сравнению с концентрациями, зафиксированными на более высоких уровнях. Минимальное значение CO₂ отмечается в июле 2018 года на высоте 34 м и составляет 386,4 ppm. В период зимнего покоя наблюдаются накопление диоксида углерода в приземном слое атмосферы, максимальные значения содержания углекислого газа возрастают до 425,08 ppm в апреле 2024 года. Анализ данных мониторинга выявил устойчивый рост среднегодовой концентрации CO₂ в атмосфере. В холодный период повышение концентрации углекислого газа выше, чем в летний период, что подчеркивает роль бореальных лесов как поглотителя углерода.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по проекту «Исследование биогеохимических циклов и адаптивных реакций растений бореальных и арктических экосистем северо-востока России» и мониторинга и комплексных исследований климатически активных веществ в якутском секторе криолитозоны FWRS-2024-0083.

AIRCRAFT MEASUREMENTS OF SEASONAL DYNAMICS OF CO₂ OVER CENTRAL YAKUTIA

Alekseeva A.V., Grigoriev M.R., Petrov R.E., Starostin E.V., Maximov T.Ch.

FRC Yakutsk Scientific Center SB RAS,
Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS,
Yakutsk, Russia

Keywords: carbon dioxide, photosynthesis, permafrost, carbon cycle, forests of Yakutia.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА ПОСЕВОВ РИСА НА ОСНОВЕ БАЗЫ ДАННЫХ

Скаженник М.А.^{1*}, Гаркуша С.В.¹, Чижиков В.Н.¹, Петрушин А.Ф.²,
Митрофанов Е.П.³, Балысный И.В.¹, Пшеницына Т.С.¹

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», г. Краснодар, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

³ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: sma_49@mail.ru

Ключевые слова: рис, производственный процесс, информационная поддержка мониторинга, база данных.

Краснодарский край является главным производителем риса в России. Объем собранного на Кубани риса составляет около 80% его валового сбора в нашей стране. Отсюда понятна значимость этой культуры для земледелия Краснодарского края, в том числе с позиции продовольственной безопасности страны. С развитием современных технологий дистанционного зондирования, включая использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), существенно возросли возможности оценки состояния сельскохозяйственных посевов на больших площадях при одновременном уменьшении затрат на мониторинг посевов риса. Реализация подобных технологий вкупе с соответствующими методиками и накоплением массивов экспериментальных наблюдений позволяет повысить качество прогнозирования урожайности посевов риса и снизить затраты на мелиоративные мероприятия. Проведены исследования с целью идентифицировать взаимодействия биологических признаков растений риса с их оптическими характеристиками на основе базы данных. В вегетационно-микрополевых опытах рассмотрены закономерности роста и формирования продуктивности разных типов сортов риса. Особое внимание уделено характеристике донорно-акцепторных отношений в растениях и посевах как главному этапу производственного процесса, определяющему хозяйственную продуктивность генотипов. Результаты исследований производственного процесса интенсивных и экстенсивных сортов риса сведены в единую базу данных (БД), зарегистрированную в Роспатенте № 202462462. Она включает две основные части: описания объекта исследования и табличные данные, имеющие структуру и взаимосвязи согласно логической схемы, которая создана в программе Microsoft Access. Последняя осуществляет управление базой данных (СУБД) биологических признаков, формирующих урожайность риса. База содержит данные для идентификации взаимодействия биологических признаков растений с их оптическими характеристиками при формировании урожайности агрофитоценозов риса и внедрения научно обоснованных способов мониторинга физиологического состояния посевов и прогнозирования урожая. База данных состоит из форм для ввода сведений, включающих биологические признаки, характеризующие урожайность, силу роста семян, оптические характеристики в fazu kущения, урожайность и элементы её структуры, климатические условия. БД биологических признаков позволяет делать запросы и формировать отчёты, для оценки состояния посевов. На основе представленной БД можно разрабатывать математические модели прогноза биологической урожайности риса в Краснодарском крае.

INFORMATION SUPPORT FOR MONITORING THE PRODUCTION PROCESS OF RICE CROPS BASED ON A DATABASE

Skazhennik M.A.¹, Garkusha S.V.¹, Chizhikov V.N.¹, Petrushin A.F.²,
Mitrofanov E.P.³, Balyasny I.V.¹, Pshenitsyna T.S.¹

¹Federal Rice Research Center, Krasnodar, Russia

²Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

³Agrophysical Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Keywords: rice, production process, information support for monitoring, database.

БИОГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЗЕЛЕНЫХ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ, ИММОБИЛИЗОВАННЫХ НА КОМПОЗИТАХ ИЗ ХИТОЗАНА И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ДЛЯ БИОРЕМЕДИАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

Васильева С.Г.,* Лобакова Е.С., Горелова О.А., Лукьянов А.А., Щербаков П.Н., Соловченко А.Е.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: vankat2009@mail.ru

Ключевые слова: зеленые микроводоросли, иммобилизация, полимерные носители, биоремедиация, биогенные элементы

В настоящее время, искусственно иммобилизованные клетки микроводорослей применяются в различных областях биотехнологии, таких как, получение биомассы и ценных метаболитов, очистка водных акваторий и сточных вод от тяжелых металлов, избытка биогенных элементов и органических загрязнителей. Иммобилизация микроводорослей облегчает процесс сбора биомассы, может способствовать большей устойчивости культур к стрессовым условиям.

Композитные носители на основе хитозана и целлюлозосодержащих наполнителей продемонстрировали высокую степень биосовместимости с клетками микроводорослей. Иммобилизованные микроводоросли, в целом, активно размножались на носителях, эффективно изымая из среды культивирования биогенные элементы — азот и фосфор, что важно для использования биогибридных материалов в технологиях биоремедиации. Показано, что для поддержания высокой эффективности этих процессов иммобилизованные культуры должны быть обеспечены световой энергией: эффективность поглощения нутриентов возрастала при повышении интенсивности освещения. Удобным инструментом управления физиологическим состоянием культур, в частности, их способностью к поглощению фосфора является контролируемое фосфорное голодание: после пред-инкубации в среде, не содержащей биодоступного фосфора, способность к поглощению этого элемента повышается как у суспензионных, так и у иммобилизованных культур микроводорослей. Дополнительно было установлено, что культуры исследованных штаммов микроводорослей, иммобилизованные на композиционных носителях, более успешно противостоят неблагоприятным факторам — свету высокой интенсивности, азотному и фосфорному голоданию.

Результаты исследований показали, что использование культур микроводорослей, иммобилизованных на композитных носителях на основе природных полимеров — хитозана и целлюлозы, является перспективным подходом и способствует развитию методов биоремедиации сточных вод с применением микроводорослей, позволяющих эффективно извлекать биогенные элементы из сточных вод и возвращать их в агроэкосистемы в качестве биоудобрений.

BIOHYBRID MATERIALS BASED ON GREEN MICROALGAE IMMOBILIZED ON COMPOSITES FROM CHITOSAN AND CELLULOSE FOR WASTEWATER BIOREMEDIALION

Vasilieva S.G.,* Lobakova E.S., Gorelova O.A., Lukyanov A.A., Scherbakov P.N., Solovchenko A.E.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Key words: green microalgae, immobilization, polymer carriers, bioremediation, biogenic elements

МУТАНТНЫЕ ШТАММЫ *CEREIBACTER SPHAEROIDES*, ОБЛАДАЮЩИЕ СПОСОБНОСТЬЮ К ПОВЫШЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТРИПЛЕТОВ БАКТЕРИОХЛОРОФИЛЛОВ

Фуфина Т.Ю., Проскуряков И.И., Васильева Л.Г.*

ФИЦ ПНЦБИ РАН, Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
142290 Пущино, Московская обл., Россия; *e.mail: vsyulya@mail.ru

Ключевые слова: триплеты бактериохлорофиллов, синглетный кислород, направленный мутагенез, пурпурные бактерии, фотосинтетический реакционный центр

В процессе фотосинтеза энергия света поглощается пигментами светособирающих антенн и передается на реакционный центр (РЦ), где преобразуется в энергию разделенных зарядов. При этом с определенной вероятностью возникают триплетные состояния пигментов. Триплеты бактериохлорофиллов (БХл) имеют энергию, достаточную для заселения чрезвычайно активного синглетно-возбужденного состояния кислорода ($^1\text{O}_2^*$). В РЦ *Cereibacter sphaeroides* фотопроцессы происходят в несколько стадий. Первая относительно стабильная стадия — это состояние с разделенными зарядами P+Q-, в котором электрон от димера бактериохлорофиллов P, переносится на молекулу убихинона Q. Когда перенос электрона к Q невозможен (если хинон находится в восстановленном состоянии или удален из РЦ), заселяется триплетное состояние ^3P . Тушение триплетов БХл в РЦ происходит за счет переноса их энергии на молекулы каротиноидов.

С помощью направленного мутагенеза планируется увеличить способность РЦ пурпурной бактерии под действием света генерировать триплеты БХл и $^1\text{O}_2^*$ с целью его использования в биотехнологиях. Создана генетическая конструкция на основе *ruf*-оперона из *C. sphaeroides* для экспрессии *in vivo* в мембранах этой бактерии фотосинтетического аппарата, состоящего из светособирающих антенн и мутантного РЦ с заблокированным переносом электрона к убихинону. В таких РЦ будет происходить индуцированное светом заселение триплетного состояния первичного донора, ^3P . Для предотвращения тушения триплетов БХл из структуры РЦ удается молекула каротиноида. Ожидается, что такие образцы будут способны к образованию $^1\text{O}_2^*$ в аэробных условиях при освещении ИК светом.

$^1\text{O}_2^*$ широко используется в разных областях биотехнологии в качестве катализаторов химических реакций, для очистки воды и почвы от загрязнения нефтепродуктами, для фотодинамической терапии опухолей различной этиологии, а также ряда инфекций, устойчивых к антибиотикам. Преимущества нашего подхода к созданию нового источника $^1\text{O}_2^*$: мембранные липидные структуры легко проникают в живые клетки; это природный, био-разлагаемый, экологически безопасный продукт; мутантные фото-комpleксы *C. sphaeroides* поглощают свет в области 800–870 нм, что позволяет использовать облучение инфракрасным светом, более глубоко проникающим в ткани, клетки, воду и почву, чем видимый свет.

MUTANT STRAINS OF *CEREIBACTER SPHAEROIDES* WITH THE ABILITY TO INCREASE BACTERIOCHLOROPHYLL TRIPLETS GENERATION

Fufina T.Yu., Proskuryakov I.I., Vasiliyeva L.G.

FRC PSCBI RAS, Institute of Fundamental Problems of Biology
RAS, 142290 Pushchino, Moscow Region, Russia;

Keywords: bacteriochlorophyll triplets, singlet oxygen, site-directed mutagenesis, purple bacteria, photosynthetic reaction center

ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ РОСТА КАЛЛУСНЫХ КУЛЬТУР, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ ЭКСПЛАНТОВ РАЗНЫХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ

Головацкая И.Ф. *, Попов Д.С., Прокопенко В., Кадырбаев
М.К., Медведева Ю.В., Бойко Е.В., Лаптев Н.И.

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

Ключевые слова: каллус, *Lychnis chalcedonica*, мелатонин, рост, салициловая кислота.

Для получения растительных клеточных культур используют ткани разных органов. Несмотря на то, что при этом образование раневой меристемы в ходе дедифференцировки клеток от разных эксплантов должно происходить по общему плану, прослеживается специфика процессов. Это, вероятно, связано с исходным химическим окружением клеток, преступающих к дедифференцировке, вследствие тканевой специфики экспрессии генов.

Целью исследования было определение эффективности действия 1.0 нМ и 1.0 нМ салициловой кислоты (СК) и мелатонина (Мел) на рост трех линий каллусных культур *Lychnis chalcedonica* L., полученных от разных эксплантов.

В ходе эксперимента нами обнаружена разная скорость каллусообразования у тканей основания побега, гипокотиля и листа на питательной среде Мурасиге-Скуга (МС-среда), содержащей НУК, 6-БАП и витамины. Впоследствии полученные разные линии каллуса при переносе на МС-среду также росли (деление клеток, увеличение их размеров и биомассы) неодинаково. То есть различия в морфогенезе полученных линий от одного вида растения сохранялись и при длительном субкультивировании (21–23 пассаж). Этот факт, возможно, связан с возникновением клеточной неоднородности или степени стрессовых условий для их существования. Наиболее отзывчивой на химический состав МС-среды была каллусная культура, полученная от экспланта основания побега (ОПЛ). Гипокотильная (ГЛ) и листовая (ЛЛ) линии характеризовались более пологой кривой роста, что свидетельствовало о неблагоприятных для них условиях культивирования.

Следовало ожидать, что применение СК и Мел, известных как стрессовые гормоны и регуляторы антиоксидантной защиты, позволит ускорить рост и повысить устойчивость культур к факторам МС-среды. СК существенно повышала ростовой индекс (РИ) по сырой и сухой массе культуры ОПЛ, в меньшей степени влияла на РИ ЛЛ, и практически не изменяла РИ ГЛ. Наибольшую стимуляцию роста наблюдали при меньшей концентрации СК в МС-среде. Мел повышал РИ у всех линий культур с разной эффективностью: ОПЛ > ЛЛ > ГЛ. Наибольшую стимуляцию роста наблюдали при увеличении концентрации экзогенного гормона. Таким образом, СК и Мел можно использовать для оптимизации условий выращивания каллусных культур.

Данная работа была поддержана Программой развития Томского государственного университета (Приоритет 2030).

HORMONAL REGULATION OF GROWTH OF CALLUS CULTURES OBTAINED FROM EXPLANTS OF VARIOUS PLANT ORGANS

Golovatskaya I.F., Popov D.S., Prokopenko V., Kadyrbaev
M.K., Medvedeva Yu.V., Boyko E.V., Laptev N.I.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

Keywords: callus, *Lychnis chalcedonica*, melatonin, growth, salicylic acid.

БИОГЕОТЕХНОЛОГИЯ, БИОСФЕРОПОДДЕРЖИВАЮЩЕЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ, «ПАКЕТЫ ТЕХНОЛОГИЙ» И 25-ЛЕТИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВО РОССИИ

Душков В.Ю.

Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской Академии наук, Москва, Россия.
E-mail: vdushkov@yandex.ru

Ключевые слова: стабилизация гомеостаза биосферы, устойчивое с/х развитие.

Обобщения 60-летних результатов, комплексных биогеоценотических (БГЦ) исследований, выполненных в полупустыне на известном в России и за рубежом Джаныбекском, агролесомелиоративном стационаре РАН, и специально организованном в 1994 г. инновационном научно-внедренческом объединении ЭКО «Эталонная ферма» (далее «ЭКО») определило формирование нового научного направления **биогеотехнология (БГТ — вторая часть БГЦ)**. *Bio-geo-technology (BGT)*, дословно от греч. — наука о жизни на земле с мастерством, искусством. В основу БГТ, автор положил новое определение БГЦ, системный анализ и «Закон биогеотехнологического моделирования» (— монография, Душков, 2016, 196 с.), определившие базовый подход и принципы осознанного участия человечества в эволюции биосферы, на основе целенаправленно созданных «пакетов технологий» («пакетов БГТ природопользования») стабилизирующих гомеостаз биосферы.

Все исследования вели параллельно с внедренческими работами, под руководством директора «ЭКО» В. Ю. Душкова и ген. директора Агрохолдинга «ГЕТЭКС» В. С. Глининова (финансирование, внедрение технологий в производство). В работе участвовало 21 ученый и 240–250 руководителей разных подразделений. Основной вклад сделали: А. Г. Ишин, А. С. Кушнир, Б. Ю. Душков, С. Г. Чекалин, Г. И. Костина, В. И. Жужукин, Г. Г. Комисаров, Л. М. Апашева и руководители работ. За 25 лет на базе «ЭКО» целенаправленно создали 14 введенных в Госреестр РФ сортов (Авт. свидетельства, №: 47918, 47919, 47920, 47921 — сорговые; 44706 — сафлор; 47439 — горчица; и 8 трав: волоснец ситниковый № 44126 и 50739, житняк сибирский № 46384, пырей сизый № 46376, и др.) способных в комплексе с 4-мя патентованными технологиями (RU № 2141185, 2141186 — возделывание сафлора; RU 2264070, 2800266 — повышение устойчивости и продуктивности пероксидом водорода) обеспечить устойчивое с/х развитие (см. тезисы ниже). 7 технологий внедрили в 7 областях РФ, Краснодарском крае, Калмыкии, в 81 хозяйстве (учет 2016 г.)

В 2024 г. Правительство России утвердило распоряжение (№ 2103-р от 07.08) о Научно-технологическом центре биоэкономики и биотехнологий. Комментируя это решение, М. В. Мишустин отметил, что «биогеотехнологии довольно молодая в России сфера. Она связана с разработкой и внедрением инноваций, которые помогают снижать нагрузку на экологию, ... Наша страна обладает большими возможностями для ее дальнейшего развития...» (<http://government.ru/docs/52368/>). В реальности дело обстоит значительно лучше. С 1950 гг. в России разрабатываются и внедряются в производство передовые, стабилизирующие биосферу и жизнь человека агролесомелиоративное пакеты технологий (Душков и др. Рекомендации ... освоения Северного Прикаспия. Гослесхоз. 1988). Сформировано новое фундаментальное научное направление — **биогеотехнология**, основные положения которой введены акад. В. И. Кирюшиным (2017 г.) в 6-е издание учебника по ландшафт为之.

В дополнение, к выше названным участникам работ, автор приносит благодарность: Разработчикам технологий: Кудиновой Т.Д., Соколовой В.Я., Шатрыкину А.А., Гиберт М.Л., Кулешову А.М., Сидельникову З.А., Гвинджилия С.Т., Стребкову Д.С., Буднику М.И., Турбину В.В., Ро-

занцеву М. В., Лобанову А. В., Овчаренко Е. Н. Руководителям районов и разных подразделений, оказывающих помощь при их внедрении: Гончарову Ю. Л., Фаизову И. Ф., Ланфану А. В., Прянишниковой Н. В., Галичкину А. И., Слепухе Н. Н., Толмачеву В. В., Шипилову И. Е., Игнатченко А. Н. Фоминым В. Н., и А. В., Горемыкину В. Н., Битюкову А. А., Мякишеву С. И., Егорову А. Г., Фокину В. Г., Зубову В. П., Хадыкиным А. Н., и М. А., Поваляеву С. И., Арапову А. Г., Сопину В. В., Дудникову П. А., Голубеву С. Н., Цыганову А. В., Сорокину В. В., Деребизову В. А., Коверченко Д. А., Кравченко Л. Н. и П. А., Мазманиди А. Г.

BIOGEOTECHNOLOGY, BIOSPHERE-SUPPORTING NATURE MANAGEMENT, “TECHNOLOGY PACKAGES” AND 25-YEAR RESULTS OF THEIR IMPLEMENTATION IN RUSSIA’S PRODUCTION

Dushkov V.Yu.

N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Keywords: stabilization of biosphere homeostasis, sustainable agricultural development.

БИОГЕОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОТИВОСТОЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОМУ ПОТЕПЛЕНИЮ НА ПРИМЕРЕ «ПАКЕТА ТЕХНОЛОГИЙ» ДЛЯ САФЛОРА КРАСИЛЬНОГО.

Душков В.Ю.¹, Чекалин С.Г., Кушнир А.С.

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской Академии наук, Москва, Россия.
E-mail vdushkov@yandex.ru

Ключевые слова: биогеотехнология (БГТ), устойчивое с/х развитие, патенты и сорта сафлора.

В процессе формирования биогеотехнологии (см. тезисы выше), в целях стабилизации с/х производства России, противостояния засухам и глобальному потеплению, в 1993 г., мы отобрали среди растительных форм — сафлор красильный — типичный ксерофит группы C4, обладающий ценными хозяйственными и биосфероподдерживающими свойствами. При раннем кошении он дает корм для животных. При уборке маслосемян (содержат 26–36% масла и 11–18% белка), из них получают ценное пищевое сафлоровое масло и жмы — корм для птицы и скота. С биосферных позиций, сафлор мощный мелиорант, улучшитель и рассолитель почв (выносит с биомассой 11–12% солей), усиливает сток углерода.

В 1994–2003 гг., используя лучший, старый сорт — Миллютинский 114 (создан в 1950-х гг. в Узбекской ССР, в РФ своих сортов и значимых посевов сафлора не было) на основе экспериментов поставленных на Джаныбекском стационаре РАН и научно-внедренческом объединении ЭКО «Эталонная ферма» была установлена перспективность возделывания сафлора на почвах мелиорируемого полупустынного солонцового комплекса включающего 50–60% солончаковых солонцов (при коэф. увлажнения (КУ), $0,28 \pm 0,03$ — полупустыня, средняя урожайность маслосемян сафлора — $5,3 \pm 0,98$ ц/га, на 51% превышала рентабельный уровень — $3,5 \pm 0,5$ ц/га). Полученные в эксперименте технологии защитили патентами: Способ возделывания сафлора, Способ повышения устойчивости и продуктивности севооборотов в аридных регионах (RU: 2141185 C1; 2141186 C1. Душков, Чекалин, 1999).

В 1997/8 гг. провели испытание разработанных технологий в 7 хозяйствах с получением средней урожайности сафлора в полупустыне, 5,6 ц/га. В 1999 г., при поддержке главы Палласовского района А. И. Галичкина, под руководством ген. директора ООО «ГЕТЭКС» В. С. Глинянова, сафлор внедрили в 3-х районах Волгоградского Заволжья (3 акта внедрения 1997/99 гг., Душков, 2016) затем в Волгоградской, Саратовской и др. областях с реализацией маслосемян за рубеж и параллельной организацией производства сафлорового масла в РФ.

В 2003/4 гг. объединившись с группой селекционеров, работавшей под руководством А.С. Кушнира, (договор между Камышинской селекционной станцией Нижнее-Волжского НИИСХ и «ЭКО») создали для почв полупустынного комплекса, сорт сафлора Заволжский 1 (Авт. свид. РФ № 44706–2005 г, средняя урожайность на солонцовом комплексе — 9 ц/га, каштановых почвах — 14,7 ц/га, масличность 28%, белок 17,9%). Для степи группой А. С. Кушнира были созданы сорта сафлора: Камышинский 73, Александрит, Волгоградский 15 (РФ №: 34851–2002 г.; 54848–2012 г.; 68719–2017 г.). Создание «пакета технологий» и устойчивого рынка для сафлора, способствовало росту посевых площадей. В 2015 г., только в Волгоградской и Саратовской обл., они достигли 250 тыс. га. В 2020 г. по данным ФАОСТАТ ([tps://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_producing_countries_of_agricultural_commodities](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_producing_countries_of_agricultural_commodities)) Россия вышла по производству маслосемян сафлора на 2 место в мире. Сейчас сафлоровое масло в России производят более 10-ка заводов (см. Интернет).

Заключение. За 25 лет под руководством авторов статьи и ген. директора Агрохолдинга «ГЕТЭКС» В. С. Глинянова (финансирувал проект, организовал внедрение) с участием Кудиновой Т.Д., Соколовой В.Я., Шатрыкина А.А., Гиберт М.Л., Кулешова А.М., Сидельникова З.А. создан «пакет технологий» («пакет БГТ природопользования»), внедрение которого обеспечило ввод в с/х производство России ценной масличной, стабилизирующей биосферу культуры — сафлора красильного (см. тезисы выше).

BIOGEOTECHNOLOGY AND GLOBAL WARMING COUNTERFEIT ON THE EXAMPLE OF THE «TECHNOLOGY PACKAGE» FOR SAFFLOWER.

Dushkov V.Yu.¹, Chekalin S.G., Kushnir A.S.

¹N.N. Semenov Federal Research Center of Chemical Physics,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Keywords: biogeotechnology (BGT), sustainable agricultural development, patents and safflower varieties.

БИОГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ, «ПАКЕТЫ ТЕХНОЛОГИЙ», АГРОЛЕСОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И 50-ЛЕТНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЛУПУСТЫНЕ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПАЛЛАСОВСКОГО РАЙОНА ВОЛГОГРАДСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ)

Душков В.Ю.¹, Глинянов В.С., Душков Б.Ю., Ишин А.Г.

¹Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова
Российской Академии наук, Москва, Россия. E-mail: vdushkov@yandex.ru

Ключевые слова: устойчивое с/х развитие, сорговые, активированная вода, агролесомелиорация.

Анализ форм растений, целенаправленная селекция и испытание в засоленной, глинистой полупустыне 180 линий сорговых (переданы по договору из коллекции Саратовского РосНИИСК «Россортого», его основателем — А. Г. Ишиным) позволило выявить, на базе ЭКО «Эталонная ферма» и ввести в Госреестр РФ, 4 вида, перспективных для солонцовых комплексов, сорговых: зерновое, краснозерное — «Эльтонское», белозерное — «Ишинское», сахарное — «Джаныбекское» и судансскую траву — «Вишневская» (Авт. свид., РФ №: 47918; 47919; 47920; 47921, — 2008 г., приоритет 2005 г.). По требованиям биогеотехнологии (см. тезисы выше) данные сорта, при ценных хозяйственных свойствах, способны запускать процессы стабилизации биосфера: (1) эффективный вынос из почвы солей (250 кг, при поливе, больших осадках до 500 кг/год); (2) значимое обогащение почв органикой («Эльтонское» — 15–20 ц/га, при стерне Н — 15–20 см); (3) зимой, за счет стерни дополнительную аккумуляцию снега/влаги, ≥15–20 мм; (4) усиленный сток углерода, с 3–7 кратным (50±10 ц/га) превышением биомассы степи — 11±3 ц/га; и (5) 10–20 кратным и более наращиванием выхода ценной продукции, сахаристое сено + зерно (Душков¹, 2016).

Для дополнительного подъема продуктивности и устойчивости сорговых, и других видов растений подобрали экологически чистый природоподобный, присутствующий в природных (*max* в грозовых) водах, препарат — пероксид водорода, который получают на установках разработанных в ФИЦ ХФ и ИОФ РАН (с 2020 г. функционирует НПО производящее «Экопероксид», см сайт — eseroxid.ru). Производственное испытание препарата, в полупустыне, на сорго Эльтонском (1 т семян высеваемых на 100 га, за 12 часов до высева опрыснули 10 мл препарата разведенного водой в 500 раз), После 50-дневной засухи и ливневых осадках — 50 мм, выход сена сорго превысил контроль на 58% = 8,3 ц/га. При урожае сена в степи 3–4 ц/га (Душков¹ и др. 2021, DOI.org/10.3390/plants-10102161). «Экопероксид» оказался перспективным для озимой пшеницы — бункерный урожай зерна после опрыскивания семян, растений поднимался на 13–18 и более % (Душков¹ и др. 2022, DOI:10.31857/2500–2082/2022/-4/64–67; Патенты: RU 2264070; 2800266 C1).

Объединение нескольких «пакетов технологий» в комплекс, позволило сформировать продуктивные севообороты: озимая пшеница — сафлор/горчица — сорго зерновое — суданка (внедрены в производство) с обработкой пероксидом. Более того, «комплексные пакеты технологий» в разных комбинациях широко применяются в полезащитных системах, созданных в аридных регионах России с использованием опыта Джаныбекского стационара РАН (Роде и др. 1977; Душков¹, 1983; Душков¹ и др., 1988 — «Рекомендации по защитному лесоразведению и лесной мелиорации ... полупустыни ... Прикаспия.) За 50 лет Палласовским лесхозом созданы различные по структуре полезащитные и придорожные полосы (из вяза приземистого, сохранилось — 2282

га/1845 га полезащитных). По оценке акад. К. Н. Кулика и А. М. Пугачевой (2024) лесистость пашни Палласовского района — 1,65%, выше нормы — 1,4%. В итоге, район, который охарактеризован акад. С. Палласом как «непригодный для жизни» имеет оптимально озеленённый центр — г. Палласовка. Площадь лесных насаждений в районе — 600 м²/ чел., в 2 раза выше нормы установленной ВОЗ. В 2018–22 гг. в среднем на 1 человека в районе произведено: 1656 кг/чел. зерна (мировой *max*, Канада 1700 кг/чел.); 696 кг/чел. молока (мировой *max*, Финляндия, 434 кг/чел.); 249 кг/чел. мяса (мировой *max*, Дания, 347 кг/чел.). Благодарности: см. выше в тезисах №1 и 2.

**BIOGEOTECHNOLOGICAL PRINCIPLES, «TECHNOLOGY PACKAGES»,
AGROFORESTRY IMPROVEMENT TECHNOLOGIES
AND 50-YEAR RESULTS OF THEIR USE IN THE SEMI-DESERT
OF THE NORTHERN CASPIAN SEA
(ON THE EXAMPLE OF PALLASOVSKY DISTRICT
OF THE VOLGOGRAD TRANS-VOLGA REGION)**

Dushkov V.Yu.¹, Glinyanov V.S., Dushkov B.Yu., Ishin A.G.

¹N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics,
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

Keywords: sustainable agricultural development, sorghum, activated water, agroforestry.

МИТОХОНДРИАЛЬНЫЕ ПЛАЗМИДЫ *ZEA MAYS* КАК ОСНОВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕЗИДЕНТНОГО ВЕКТОРА ДЛЯ ТРАНСФОРМАЦИИ МИТОХОНДРИЙ

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

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

²Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

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

Ключевые слова: митохондрии, линейные плазмиды, геном, мобильные генетические элементы, генетическая трансформация

Нерешенность проблемы генетической трансформации растительных митохондрий, препятствующая использованию последних для решения задач промышленной и сельскохозяйственной биотехнологии, не в последнюю очередь связана с недооценкой биологических свойств линейных плазмид, представленных наряду с геномной ДНК в митохондриях многих видов высших растений. В то же время достигнутые успехи в генетической инженерии хлоропластов служат убедительным доказательством преимуществ создания биотехнологических платформ для продукции рекомбинантных белков на основе генетической системы эндосимбиотических органелл. Одним из решающих условий для успешного клонирования целевых генов в растительных митохондриях является создание векторов интегративного и/или репликативного типа, способных к стабильному поддержанию в этих органеллах в условиях *in vivo*. Целью настоящей работы было исследование молекулярно-генетических свойств линейных митохондриальных плазмид кукурузы (*Zea mays*), которые целесообразно использовать как основу генетического вектора для доставки и экспрессии целевых генов в митохондриях. Для митохондрий линий *Z. mays* характерно присутствие линейных плазмид: S1 6,4 т. п. н., S2 5,4 т. п. н. и S3 2,3 т. п. н. Данные плазмида, как и другие линейные плазмида растительных митохондрий, относятся к классу инверtronов и характеризуются наличием концевых инвертированных повторов (КИП), и ковалентно-связанными с 5' — концами защитными белками, которые инициируют репликацию плазмид. КИП плазмид S1 и S2 идентичны и имеют длину 208 п. н., тогда как у S3 длина КИП составляет 170 п. н. С использованием плазмиды S3 ранее установлено, что наличие КИП у молекулы ДНК приводит к существенному повышению активности ее импорта в митохондрии. S-плазмида кодируют гены, совокупная экспрессия которых полностью обеспечивает их гомеостаз в митохондриях: ДНК-полимеразу (S1), РНК-полимеразу (S2) и 5' — концевой белок (S3). Таким образом, система трех линейных S плазмид *Z. mays* представляет собой молекулярную систему, вполне пригодную для конструирования на ее основе составного вектора для генетической трансформации митохондрий.

Работа выполнена в рамках государственного задания Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН № 0277-2025-0001 (Рег.№ НИОКР — 125021702323-2).

MITOCHONDRIAL PLASMIDS OF *ZEA MAYS* AS A BASIS FOR CREATING A COMPLEX RESIDENT VECTOR FOR MITOCHONDRIA TRANSFORMATION

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

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

²Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Keywords: mitochondria, linear plasmids, genome, mobile genetic elements, genetic transformation

РЕГИСТРАЦИЯ НИКТИНАСТИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОЛУЧАЕМОЙ ИНФОРМАЦИИ

Котов Г.Е*, Анташкевич А.А., Слепцов Н.Н., Тараканов И.Г.

ФГБОУ ВО Российской государственный аграрный университет — МСХА имени К.А.Тимирязева, Москва, Россия, E-mail: g.e.kotov@yandex.ru

Ключевые слова: фенотипирование растений, компьютерное зрение, никтинастические движения

Для регистрации никтинастических движений листьев растений мы используем специально созданную платформу RGB-фенотипирования. Программа экспериментальных исследований с растениями на платформе фенотипирования включает ряд этапов: сбор, хранение, обработка, визуализация и анализ. При этом мы используем специальное программное обеспечение (ПО) для получения изображений с набора камер в единую базу данных, создания таймлапсов, а также визуализации полученной информации в виде диаграмм.

При визуализации информации по никтинастическим движениям листьев растений салата в опыте по изучению реакции растений на разные фотопериод и интеграл суточной радиации (ИСР) с использованием разработанной нами оригинальной методики на основе таймлапсов из созданной базы данных были получены диаграммы, отражающие суточные изменения в ориентации листовых пластинок, а также динамику накопления биомассы в процессе роста и увеличения размеров растений, получены. У растений салата при выращивании на фотопериоде 8 ч наблюдали четкие ритмы никтинастических движений листьев. В ночной период они поднимались, в связи с чем регистрируемая камерой их проекция уменьшалась. При этом важно отметить, что подъем листьев происходил лишь в самом начале темнового периода, после чего наблюдалось постепенное опускание листовых пластинок. Вероятно, ведущую роль в затягивании данного ритма играет смена света темнотой. Однако, данная гипотеза нуждается в экспериментальной проверке. На более длинных фотопериодах 12, 16 и 20 ч ритмы были выражены гораздо слабее. Увеличение размеров растений в процессе роста происходило с большей скоростью по мере увеличения фотопериода и ИСР (то есть светового довольствия растений). Особенно сильные различия между вариантами световых режимов мы наблюдали в первые двое суток регистрации.

В ходе работы с использованием растений салата, руколы, редиса усовершенствованы методы обработки и анализа изображений при использовании подходов на основе компьютерного зрения в технологии массового фенотипирования.

REGISTRATION OF NYCTINASTIC MOVEMENTS OF PLANT LEAVES AND VISUALIZATION OF THE OBTAINED INFORMATION

Kotov G.E., Antashkevich A.A., Sleptsov N.N., Tarakanov I.G.

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

Keywords: plant phenotyping, computer vision, nyctinastic movements

ВЛИЯНИЕ МЕТАБОЛИТОВ ШТАММА *BACILLUS SUBTILIS* 3Н НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ У РАСТЕНИЙ *SOLANUM TUBEROSUM*

М. В. Кузнецова^{1,2}, В.В. Федяев², Р. Г. Фархутдинов²

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

²Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

frg2@mail.ru

Ключевые слова: *Bacillus subtilis* 3Н, *Solanum tuberosum*, засуха, антиоксидантная система.

Наиболее известными и часто включаемыми в состав биофунгицидов являются биопрепараты на основе штамма *B. subtilis* 26Δ («Фитоспорин» и др.). Перспективным в данном направлении является непатогенный для человека штамм *Bacillus subtilis* 3Н с известным клинически доказанным пробиотическим действием [Пат. № 2067616С1, 1996].

Согласно полученным результатам исследований оба штамма *B. subtilis* 26Δ и 3Н проявляли антагонистическую активность в отношении тест-культур во всех разведениях. Штамм *B. subtilis* 3Н проявил большую фунгицидную активность по отношению к *F. culmorum* и *Fusarium spp.* по сравнению с эталоном во всех разведениях. Бесклеточный ультрафильтрат метаболитов *B. subtilis* 3Н проявлял антагонистическую активность ниже по сравнению с исходной бактериальной суспензией штамма в отношении всех тест-культур. Бактериальная суспензия штамма *B. subtilis* 3Н по своим фунгицидным качествам не уступает эталонному фунгицидному штамму *B. subtilis* 26Δ.

Обработка семян биопрепаратором приводила к повышению активности каталазы при оптимальном увлажнении, а в условиях засухи у растений, обработанных биопрепаратором, активность каталазы увеличивалась и была больше необработанных растений. Активность пероксидазы в условиях засухи увеличивалась у необработанных растений. Уровень МДА в побегах необработанных бактериями растений в условиях засухи повышался на почти 60% по сравнению с растениями, выросшими при оптимальном увлажнении. Содержание пролина в побегах необработанных биопрепаратором растений в условиях засухи было больше, чем у растений, выросших при оптимальном увлажнении. Нами было установлено, что в условиях почвенной засухи растения, инокулированные клетками бактерии *B. subtilis* 3Н, росли лучше необработанных растений. Обработанные бактериями биопрепарата растения содержали МДА в меньшем количестве, чем необработанные, что свидетельствует о снижение уровня развития окислительного стресса у обработанных растений и повышении их засухоустойчивости.

INFLUENCE OF *BACILLUS SUBTILIS* 3Н STRAIN METABOLITES ON PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PROCESSES IN *SOLANUM TUBEROSUM* PLANTS

М. В. Кузнецова^{1,2}, В.В. Федяев², Р.Г. Фархутдинов²

¹ООО «Scientific and Implementation Enterprise “BashInkom”, Ufa, Russia

²Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: *Bacillus subtilis* 3Н, *Solanum tuberosum*, drought, antioxidant system.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СОРТООБРАЗЦОВ ТРИТИКАЛЕ НА ФОНЕ ИСКУССТВЕННО МОДЕЛИРУЕМОГО СТРЕССА

Лагметова Н.А.* Алиева З.М.

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет», Махачкала, Россия

*E-mail: nadira.xabieva@mail.ru

Ключевые слова: засоление, тритикале, сортообразец, устойчивость.

Проблема солеустойчивости растений остается актуальной, как и выявление устойчивых сортов. Нами был проведен сравнительный анализ устойчивости к хлоридному засолению сортообразцов озимой тритикале (*×Triticosecale* Wittm.) — Горчинска, Pawo, ПРАГ 7 и ПРАГ 511 из коллекции Дагестанской опытной станции ВИР им. Н. И. Вавилова. В экспериментах использовали растворы NaCl в широком диапазоне концентраций (85, 100, 150, 200 и 250 мМ), контролем служила дистиллированная вода. Чашки Петри помещали в климатическую камеру при температуре — 23±1, освещении — 3 тыс. люкс и влажности — 75%. Устойчивость образцов определяли по снижению энергии прорастания (на 3 сутки), всхожести, ростовых показателей проростков и содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилл а и б) на 7 сутки.

Снижение энергии прорастания и всхожести семян зависела от образца и концентрации хлорида натрия. Заметное снижение энергии прорастания и всхожести семян отмечалось, начиная с уровня 200 мМ NaCl. При действии 250 мМ NaCl более сильное падение всхожести наблюдалось у образца Pawo. У этого сорта самая низкая из используемых концентраций NaCl (85 мМ), приводила к снижению высоты надземной части на 16% и длины корня на 18% относительно контрольного варианта. Самые высокие из анализируемых концентраций NaCl — 200 и 250 мМ вызывали максимальное подавление ростовых показателей у образцов Горчинска и Pawo, минимальное — у ПРАГ 7 и ПРАГ 511. Снижение сырой массы корней и надземной части в условиях засоления в большей степени было выражено у сортообразца Pawo. Изучаемые сортообразцы озимой тритикале различались и по содержанию фотосинтетических пигментов. Интенсивность снижения содержания хлорофилла в условиях засоления в листьях проростков образцов озимой тритикале была ниже у солеустойчивых форм — ПРАГ 7 и ПРАГ 511. В целом наиболее высокую чувствительность к хлоридному засолению проявил сортообразец Pawo, у которого изменения начинались при более низком уровне засоления, а при высоком были выражены в наибольшей степени.

Выражаем особую благодарность Дагестанской опытной станции ВИР им. Н. И. Вавилова за предоставленный для исследований материал.

ASSESSMENT OF STABILITY OF TRITICALE VARIETIES UNDER ARTIFICIALLY SIMULATED STRESS

Lagmetova N.A., Alieva Z.M.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Dagestan State University”, Makhachkala, Russia

Keywords: salinization, triticale, variety, stability.

СПОСОБНОСТЬ МИКРОВОДОРОСЛИ *DESMODESMUS SP. IPPAS S-2014* К ДЕСТРУКЦИИ МЕЛАНОИДИНОВ САХАРНОЙ МЕЛАССЫ

Лукьянов А.А.*¹, Федоренко Т.А., Дольникова Г.А., Мартысюк М.Г., Козлов М.Д., Лобакова Е.С.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: loockart@mail.ru

Ключевые слова: микроводоросли, меласса, деструкция, меланоидины, культивирование

Меласса — побочный продукт сахарного производства. Характерными особенностями мелассы являются высокая (порядка 20–40% по массе) остаточная концентрация низкомолекулярных углеводов, а также присутствие темных соединений сложной химической структуры — меланоидинов, которые определяют темный цвет мелассы и могут оказывать токсическое воздействие на микрофлору. Меласса с трудом поддаётся переработке и может использоваться в спиртовых производствах или в качестве кормовых добавок для животных и птиц. При этом, ежегодно образуются сотни тысяч тонн таких отходов. Известно, что микроводоросли *Scenedesmus obliquus* и *Chlorella vulgaris* способны пассивно связывать меланоидины на своих клеточных стенках, используя функциональные группы, а цианобактерия *Oscillatoria boryana* способна эффективно удалять меланоидины на 30 сутки роста. При этом, необходимо значительно (в сотни раз) предварительно разбавлять мелассу. Кроме этого в различных работах отмечалось ингибирующее действие мелассы на микроорганизмы.

Для поиска альтернативного подхода к биологической переработке мелассы и деструкции меланоидинов исследовали особенности культивирования одноклеточных водорослей *Desmodesmus sp. IPPAS S-2014* в растворах сахарной мелассы различной концентрации. Установлено, что для эффективного роста мелассу, содержащую около 20% углеводов и оптически непрозрачную в видимом диапазоне спектра, необходимо разводить минимум в 16 раз (что значительно меньше разведения, описанного в литературных источниках). Меласса не оказывала острого токсического действия на клетки исследуемых микроводорослей и рост последних лимитировался доступностью световой энергии и элементов минерального питания. В результате культивирования микроводорослей *Desmodesmus sp. IPPAS S-2014* на 1/16 разведенной мелассе наблюдалось обесцвечивание мелассы до 80% на 15 сутки роста по сравнению с исходным значением при инокуляции.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что культивирование микроводорослей при 1/16 разведении приводит к наиболее значительной деколоризации мелассы уже на 15 сутки роста, по-видимому, благодаря деструкции меланоидинов кислородом, выделяемым при фотосинтезе, что может быть использовано при разработке новых технологий для переработки сахарной мелассы.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант 23-44-00006).

DESTRUCTION OF SUGAR MOLASSE MELANOIDINS BY THE MICROALGA *DESMODESMUS SP. IPPAS S-2014*

Lukyanov A.A., Fedorenko T.A., Dolnikova G.A., Martisyuk M.G., Kozlov M.D., Lobakova E.S.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Keywords: microalgae, molasse, destruction, melanoidins, cultivation

БИОУДОБРЕНИЕ НА ОСНОВЕ БЕРЕЗОВОГО БИОЧАРА И ГАЛОТОЛЕРАНТНОГО ШТАММА PGP-РИЗОБАКТЕРИЙ СТИМУЛИРУЕТ РОСТ И ПОВЫШАЕТ УСТОЙЧИВОСТЬ *BRASSICA JUNCEA* (L.) CZERN К ЗАСОЛЕНИЮ

Малева М.Г.*¹, Борисова Г.Г., Авраменко А.В., Салата А.А.Х.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: maria.maleva@mail.ru

Ключевые слова: горчица сарептская, *Pseudomonas* sp., хлорид натрия, параметры роста, пролин

Засоление почв является одной из наиболее серьезных угроз глобальной продовольственной безопасности. Повышенное содержание солей в почве приводит к снижению рН, ускоряет процессы минерализации, угнетает жизнедеятельность ассоциативных микроорганизмов, связывает почвенную влагу, негативно влияет на морфологию и физиологические-биохимические процессы растений, что приводит к снижению их роста и продуктивности в целом. Перспективной стратегией решения данной проблемы является использование биопрепаратов, способных не только усиливать рост растений, но и повышать их устойчивость к солевому стрессу. В модельном эксперименте оценивали влияние биоудобрения (ББУ) на основе березового биочара и галотолерантного штамма ростстимулирующих ризобактерий (PGPR) *Pseudomonas* sp. STF14 на рост и некоторые физиологические характеристики горчицы сарептской салатной (*Brassica juncea* (L.) Czern, сорт «Частушка») в условиях солевого стресса, вызванного действием NaCl. Для создания ББУ биочар измельчали, а затем смешивали в пропорции 5:1 (по объему) с жидкой культурой STF14 (10^8 КОЕ/мл), предварительно выращенной на среде Луриа — Бертани. Эксперимент включал 4 варианта: контрольный торфогрунт (ТГ); ТГ + ББУ (2,5%, по объему); ТГ + NaCl (80 mM); ТГ + ББУ (2,5%, по объему) + NaCl (80 mM). Растения горчицы выращивали в 3 л вегетационных сосудах (по 3 на вариант, 150 растений в каждом) в течение 21 суток при естественных условиях. Растения поливали раствором соли дважды в неделю, начиная с 7-дня после посева. Добавление ББУ увеличивало длину и сырью биомассу побегов горчицы по сравнению с контролем (в среднем на 23%), тогда как обработка NaCl ингибировала их рост. Кроме того, ББУ (как отдельно, так и совместно с NaCl) положительно влияло на содержание фотосинтетических пигментов. При раздельном применении ББУ и NaCl содержание малонового диальдегида в листьях горчицы увеличивалось в сравнении с контролем в 1,4 и 1,9 раз, соответственно. Однако при их совместном использовании оно снижалось в 1,6 раза. Полив горчицы раствором соли почти в 5 раз увеличивал содержание свободного пролина и почти в 7 раз — Na^+ , тогда как ББУ + NaCl существенно снижали их количество. Таким образом, применение ББУ в условиях солевого стресса способствовало улучшению роста горчицы и повышению ее устойчивости к хлориду натрия.

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FEUZ-2024-0011).

**BIOFERTILIZER BASED ON BIRCH BIOCHARA
AND HALOTOLERANT STRAIN OF PGP-RHIZOBACTERIA
STIMULATES GROWTH AND INCREASES RESISTANCE
OF BRASSICA JUNCEA (L.) CZERN TO SALINITY**

Maleva M.G., Borisova G.G., Avramenko A.V., Salata A.A.Kh.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Keywords: Sarepta mustard, *Pseudomonas* sp., sodium chloride, growth parameters, proline

ХАРАКТЕРИСТИКА УГЛЕВОДНЫХ ФРАГМЕНТОВ ГЛИКОЗИЛИРОВАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ

Михайлова А. А., Петрова Н. В., Микшина П. В.

Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия,
E-mail: lika.mikhailova@mail.ru

Ключевые слова: *Linum usitatissimum*, гликозилирование белков, лектины, растительные гликаны

В растительных клетках, обладающих исключительным разнообразием углеводных структур, эволюционно сформировались специализированные системы их избирательного распознавания. Ключевыми участниками этих процессов выступают два класса углевод-распознающих белков: лектины, не проявляющие ферментативной активности в отношении распознаваемого углевода, и ферменты, содержащие СВМ (carbohydrate-binding modules). На реализацию функций лектинов существенное влияние оказывает наличие такой посттрансляционной модификации белков как гликозилирование, поскольку присоединение углеводных структур необходимо для правильной укладки белковой молекулы, что определяет доступность сайтов связывания. К числу широко распространенных типов гликозилирования в растительных системах относится N-гликозилирование, при котором олигосахариды ковалентно присоединяются к амидной группе аспарагина через N-гликозидную связь.

В докладе будут представлены выявленные нами особенности гликозилирования очищенного рекомбинантного лектина льна Lus10016109 из семейства амарантинов. Поскольку процесс гликозилирования в растительных клетках имеет специфику, отличающуюся от животных и дрожжей, получение рекомбинантных растительных лектинов было отработано нами для растительных систем экспрессии. Дегликозилирование белка проводили *in vitro* с использованием коммерчески доступных гликозидаз. Полученные в результате ферментативного гидролиза олигосахариды были проанализированы с помощью ВЭЖХ на HILIC-колонке с предварительным флуоресцентным мечением для их эффективной детекции. Для полученных олигосахаридов были охарактеризованы степень полимеризации и моносахаридный состав, на основании чего было проведено отнесение полученных олигосахаридов к известным структурным типам N-гликанов. Такой комплексный подход позволяет получить детальную информацию о структуре гликановых компонентов и особенностях гликозилирования изучаемого белка, что имеет важное значение для понимания его биологических функций.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-24-00516.

CHARACTERISTICS OF CARBOHYDRATE FRAGMENTS OF GLYCOSYLATED PLANT PROTEINS

Mikhailova A. A., Petrova N. V., Mikshina P. V.

Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics, Kazan Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

Keywords: *Linum usitatissimum*, protein glycosylation, lectins, plant glycans

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОХОВЫХ И ЛИШАЙНИКОВЫХ ЛОВУШЕК ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ АРКТИКИ

Опекунова М.Г., Никулина А.Р., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Лисенков С.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: m.opekunova@mail.ru

Ключевые слова: загрязнение, изменение климата, биоиндикация, биомониторинг, моховые и лишайниковые ловушки

К числу приоритетных задач развития технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды относится изучение вклада природных и антропогенных факторов в изменение состояния окружающей среды Арктики на основе экосистемного подхода с учетом изменения состояния депонирующих сред и реакции биоты.

При оценке состояния окружающей среды в населенных пунктах Арктического региона, где отсутствует сеть постоянно действующих станций мониторинга, эффективно внедрение в практику новых надежных подходов и методов активного биомониторинга, основанных на применении моховых и лишайниковых ловушек. Этот метод в комплексе с биогеохимической оценкой позволяет установить уровень загрязнения, объективно рассчитать количество привнесенных загрязняющих веществ в единицу времени, проанализировать распределение загрязнения в пространственном и временном отношении. Высокая чувствительность биоиндикаторов позволяет всесторонне изучить особенности аэрохимического загрязнения в городах, а форма экспонирования материалов («ловушки») способствует оценке реакции активных биоиндикаторов даже в биотопах, где мхи и лишайники не произрастают вследствие трансформации природной среды.

Положительный опыт проведения активного биомониторинга состояния урбанизированных территорий Севера с использованием методов биотестирования, моховых и лишайниковых ловушек показан на примере нескольких регионов (север Западной Сибири, Кольский полуостров; северная Карелия). Расчет пылевой, металльной и ионной нагрузки с использованием снегосъемки и моховых ловушек выявил сравнимые результаты, но в летний период техногенная эмиссия выше в связи с увеличением количества пыли в воздухе. Применение моховых ловушек и снегосъемки позволило учесть особенности потока металлов в связи с сезонной изменчивостью розы ветров и рекомендовано для оценки загрязнения атмосферного воздуха. С помощью факторного анализа установлены индикаторные ассоциации химических элементов, отражающие техногенное загрязнение.

Внедрение методики активного биомониторинга с использованием моховых и лишайниковых ловушек, применение биогеохимических и токсикологических индикаторов нарушений в арктических урбоэкосистемах позволит своевременно принимать меры во избежание деградации местных экосистем.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-24-00162.

USING MOSS AND LICHEN TRAPS FOR ASSESSING THE ENVIRONMENT IN URBANIZED TERRITORIES OF THE ARCTIC

Опекунова М.Г., Никулina A.R., Опекунов A.Yu., Кукушкин S.Yu., Лисенков S.A.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Saint Petersburg State University», Saint Petersburg, Russia

Keywords: pollution, climate change, bioindication, biomonitoring, moss and lichen traps

АНОМАЛЬНЫЕ СВЕТО-ТЕМНОВЫЕ ЦИКЛЫ ИЗМЕНЯЮТ ЗАВИСИМОСТЬ РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ РАСТЕНИЙ ОТ ИНТЕГРАЛА ОСВЕЩЕНИЯ

Рубаева А.А.*¹, Шибаева Т.Г., Шерудило Е.Г., Левкин И.А., Титов А.Ф.

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

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

Ключевые слова: интеграл освещения, аномальные свето-темновые циклы, продуктивность, энергоэффективность

Как показывают исследования последних лет, на фабриках растений с искусственным освещением для повышения эффективности производства возможно использование аномальных свето-темновых циклов (СТЦ), которые могут быть как короче, так и длиннее обычного 24-часового суточного цикла. Учитывая это, нами проведен ряд экспериментов, направленных на изучение физиолого-биохимических реакций растений на: а) удлиненные СТЦ (24/12 ч, 24/24 ч, 48/24 ч, 48/48 ч, 200/0 ч, 350/0 ч) и б) укороченные СТЦ (8/4 ч, 4/4 ч, 4/2 ч, 6/6 ч, 3/3 ч). В качестве контроля использовали фотопериоды 12/12 ч или 16/8 ч. При укороченных СТЦ оперировали понятием интеграла дневного освещения (ИДО, моль/(м²сут)), а при удлиненных СТЦ – интеграла освещения (ИО, моль/м²), полученного растениями в течение всего цикла. Серии опытов отличались между собой по ИДО или ИО на 25–50%. Кроме того, разный ИО в сериях с одинаковыми СТЦ создавался за счет варьирования уровнем освещенности от 100 до 400 мкмоль/(м² с). Объектами исследования служила микрозелень (рукола, брокколи, мизуна, редис, горох) и рассада тепличных культур (перец сладкий, огурец, томат, баклажан).

Результаты экспериментов показали, что при использовании аномальных СТЦ не сохраняется обычная (характерная для нормальных фотопериодов) зависимость продуктивности растений от ИДО (в случае укороченных циклов) или ИО (в случае удлиненных циклов). Значения коэффициентов детерминации регрессионных моделей, полученных для всех девяти видов растений по различным показателям были низкими, что говорит о том, что изменения показателей роста, продуктивности, содержания тех или иных веществ в условиях разных СТЦ обусловлены не изменениями ИО, а другими факторами. По нашему мнению, аномальные СТЦ приводят к рассогласованию внутренних эндогенных ритмов с внешними циклами смены дня и ночи, что может по-разному сказываться на метabolизме, росте и накоплении биомассы растений. Это необходимо учитывать, т.к. модели роста и развития растений, предлагаемые для управления производственным процессом, строятся на основе зависимости ростовых процессов от ИДО, а в случае с аномальными СТЦ эта зависимость нарушается. Однако, с практической точки зрения это расширяет возможности манипулирования световым фактором для получения продукции заданного качества при меньших затратах на освещение.

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

ABNORMAL LIGHT-DARK CYCLES CHANGE DEPENDENCE OF PLANT GROWTH AND PRODUCTIVITY ON THE LIGHTING INTEGRAL

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

Institute of Biology, FRC «Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences», Petrozavodsk, Russia

Keywords: lighting integral, abnormal light-dark cycles, productivity, energy efficiency

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИФУНГАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ КОРОТКИХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЕПТИДОВ-ПРОИЗВОДНЫХ АМП ТАВОЛГИ

Слезина М.П.^{1*}, Абашина Т.Н.², Одинцова Т.И.¹

¹Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия

²ФИЦ Пущинский научный центр биологических исследований, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина, Пущино, Россия;

*E-mail: omey@list.ru

Ключевые слова: антимикробные пептиды (АМП), *Filipendula ulmaria*, γ -кор, антифунгальная активность

Грибы являются одними из основных патогенов растений, они вызывают опасные заболевания, которые приводят к значительному снижению урожая. Использование фунгицидов снижает потери, но имеет негативный эффект на окружающую среду и может приводить к появлению резистентных штаммов. АМП — компоненты защитной системы самих растений, обладающие антифунгальной и антибактериальной активностями, являются экологически безопасной альтернативой используемым пестицидам, однако производство полноразмерных пептидов довольно затратно. Решением данной проблемы могут стать короткие пептиды, соответствующие γ -корам — последовательностям нативных молекул АМП, ответственным за проявление антимикробных свойств и имеющим мотив GXCX₃₋₉С.

Целью данного исследования было изучение антифунгальной активности синтетических пептидов, соответствующих последовательностям γ -коров АМП таволги *Filipendula ulmaria*, известной антисептическим, анальгетическим, противовоспалительным и ранозаживляющим действием. Методом твердофазного синтеза были синтезированы 5 пептидов длиной 14–18 аминокислот на основе γ -коров дефензинов (FuDEFL1–1, — 2) и снакинов таволги (FuSN3, 5, 6). Полученные пептиды были протестированы на антифунгальную активность против 9 видов грибов: *Fusarium culmorum*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. verticillioides*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Bipolaris sorokiniana*, *Penicillium gladioli* и *Aspergillus unguis*. Ингибирование роста гриба проверяли по изменению оптической плотности культур патогенов в присутствии пептида. Было показано, что все пептиды обладают антифунгальной активностью, хотя степень ингибирования варьировала. Самую высокую антифунгальную активность проявили пептиды γ_{88-104} FuSN3 и γ_{48-67} FuSN6 против *A. unguis* ($IC_{50} = 2,2$ и $2,1$ мкМ, соответственно), γ_{59-74} FuDEFL1–1 и γ_{48-67} FuSN6 были наиболее активными против грибов рода *Fusarium* и *B. sorokiniana*. В целом, *A. unguis* и *F. culmorum* оказались самыми чувствительными из testируемых патогенов, а *P. gladioli*, *B. cinerea* и *R. solani* были наименее чувствительными к действию пептидов при testированных концентрациях. Таким образом, обнаруженные в ходе исследования биологически активные пептиды на основе γ -коров АМП таволги могут найти практическое применение в сельском хозяйстве для защиты растений от болезней.

Работа по исследованию антифунгальной активности пептидов γ_{54-69} FuSN5 и γ_{48-67} FuSN6 выполнена за счет гранта РНФ № 25-16-00078, а других трех — за счет Государственного Задания № 102502050004-7-1.6.8.

STUDY OF ANTIFUNGAL ACTIVITY OF SHORT SYNTHETIC PEPTIDES DERIVATIVES OF MEADOWSWEET AMP

Slezina M.P.¹, Abashina T.N.², Odintsova T.I.¹

¹N.I. Vavilov Institute of General Genetics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Federal Research Center Pushchino Scientific Center for Biological Research, G.K. Skryabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, Pushchino, Russia;

Keywords: antimicrobial peptides (AMP), *Filipendula ulmaria*, γ -core, antifungal activity

НАНОЧАСТИЦЫ ЗОЛОТА ВЛИЯЮТ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИЙ АППАРАТ И ПОВЫШАЮТ ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ ОГУРЦА

Снигур М.Г.*, Нарайкина Н.В., Дерябин А.Н., Попов В.Н.,
Жукова К.В., Кочетков И.М., Венжик Ю.В.

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

*E-mail: t.2016.2017.t@gmail.com

Ключевые слова: антиоксидантная система, наночастицы золота, низкие температуры, огурец, фотосинтетический аппарат

Изучали влияние нанопрайминга на холодаустойчивость, ряд структурных и физиологобиохимических показателей огурца (*Cucumis sativus* L., с. Надежный), как ценного овощного растения. Семена замачивали в растворе золотых наночастиц (ЗНЧ, средний диаметр 15 нм, концентрация 20 мкг/мл) на 24 ч. Растения выращивали в камерах искусственного климата в контролируемых условиях среды до фазы первого настоящего листа. В надземных частях растений, обработанных ЗНЧ, количество золота было следовым. Закаливание растений проводили в течение 7 сут при 12°C.

Впервые показано усиление активности ростовых процессов у огурца под влиянием ЗНЧ в контрольных условиях (22°C): площадь листа увеличивалась на 30%, а скорость роста листа — на 9%. Кроме того, обработка ЗНЧ стимулировала увеличение площади клеток листа на 65% и площади вакуоли — на 60%. Увеличение вакуоли может свидетельствовать о накоплении в ней воды и/или метаболитов, что помогает клетке поддерживать тургор и активные биохимические процессы. Увеличение площади клеток у обработанных ЗНЧ растений, в свою очередь, может являться признаком усиления клеточного роста за счет увеличения эффективности фотосинтеза. Так, у обработанных ЗНЧ растений интенсивность фотосинтеза, а также содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях были выше, чем у контрольных.

Впервые показано, что в условиях низкотемпературного закаливания (12°C) интенсивность фотосинтеза растений снижалась, но у обработанных ЗНЧ растений этот показатель был выше, чем у контрольных. Кроме того, в условиях охлаждения ЗНЧ увеличивали количество и площадь хлоропластов, содержание фотосинтетических пигментов и устойчивость к низкой температуре (согласно данным о выходе электролитов из тканей). Несмотря на эти изменения, содержание растворимых сахаров (сахарозы, глюкозы, фруктозы) в листьях закаленных растений под влиянием ЗНЧ снижалось. Вероятно, это связано с накоплением крахмала в хлоропластах огурца и отсутствием защитного механизма расщепления крахмала на моносахара. Кроме того, под влиянием обработки ЗНЧ, повышалась активность антиоксидантных ферментов, утилизирующих H₂O₂ (пероксидаз и каталазы).

Заключено, что нанопрайминг с ЗНЧ увеличивает холодаустойчивость огурца за счет поддержания активности ФСА и повышения активности антиоксидантных ферментов.

Благодарности. Авторы благодарят д. б. н., в. н. с. ИБФРМ СарНЦ РАН Л.А. Дыкмана за предоставление коллоидных растворов золотых наночастиц.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки высшего образования Российской Федерации (тема № 122042700044–6).

GOLD NANOPARTICLES INFLUENCE PHOTOSYNTHETIC APPARATUS AND INCREASE COLD TOLERANCE OF CUCUMBER

Snigur M.G.*, Naraikina N.V., Deryabin A.N., Popov V.N., Zhukova K.V., Kochetkov I.M., Venzhik Y.V.

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

Key words: antioxidant system, gold nanoparticles, low temperatures, cucumber, photosynthetic apparatus

ИНИЦИАЦИЯ ЭМБРИОГЕННОЙ ТКАНИ У *PINUS SIBIRICA* В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТАДИИ РАЗВИТИЯ ЗИГОТИЧЕСКОГО ЗАРОДЫША

Третьякова И.Н.*[,] Лукина А.В., Носкова М.А., Помыткин Н., Пак М.Э.

*e-mail: culture@ksc.krasn.ru

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН)

Ключевые слова: *Pinus sibirica*, мегагаметофиты, зиготические зародыши, соматические зародыши

Pinus sibirica (кедр сибирский) — вид, относящийся к пятихвойным сосновым, является одним из основных лесообразователей Сибири. Из-за активной заготовки кедрового ореха этот вид подвергается хищническому истреблению. На половую репродукцию данного вида большое влияние оказывают и климатические факторы. Между тем, развитие генеративных органов у *P. sibirica* видоспецифично. Для данного вида характерна полиархегониальность, наличие простой и кливажной полиэмбрионии и недоразвитость зародышей у зрелых семян. Кроме того, у отдельных генотипов *P. sibirica* встречается феномен развития женских шишечек и эмбриональных процессов в них по однолетнему репродуктивному циклу (вместо двух лет), характерному для *Pinus*. Поэтому, наряду с традиционными методами размножения семенами *P. sibirica*, необходимо применение новых технологий размножения, которые можно использовать для осуществления крупномасштабного лесовосстановления. Одной из таких технологий является технология соматического эмбриогенеза в культуре *in vitro*. Однако *P. sibirica* проявляет неподатливость «recalcitrance» к инициации соматического эмбриогенеза.. Отклик эксплантов на образование эмбриогенной ткани не превышал 0,05%. Выявилось, что оптимальной стадией ввода в культуру *in vitro* эксплантов *P. sibirica* являются мегагаметофиты с зародышами на кливажной и ранней посткливажной стадии развития, через две недели после оплодотворения. На этой стадии развития у большинства эксплантов на среде DCR, дополненной 2 мг/л 2.4 Д и 1 мг/л 6 БАП в культуре *in vitro*, наблюдалась экструзия эмбобиально-супензорной массы через микропиллярную часть мегагаметофита. Предполагается, что у зиготических зародышей *P. sibirica* на стадии кливажа сохраняется «кливажная память», способствующая активному образованию и развитию соматических зародышей.

INITIATION OF EMBRYOGENIC TISSUE IN *PINUS SIBIRICA* IN VITRO CULTURE DEPENDING ON THE DEVELOPMENT STAGE OF THE ZYGOTIC EMBRYO

Tretyakova I.N., Lukina A.V., Noskova M.A., N.Pomytkin Pak M.E.

V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, a separate subdivision of the FRC KSC SB RAS (IL SB RAS)

Keywords: *Pinus sibirica*, megagametophytes, zygotic embryos, somatic embryos

КРИТЕРИИ СЕЛЕКЦИИ ЭМБРИОГЕННЫХ КЛЕТОЧНЫХ ЛИНИЙ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ

М.Э. Пак*, И.Н. Третьякова

Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН — обособленное подразделение

ФИЦ КНЦ СО РАН 660036, Красноярск, Россия

*E-mail: sibtaiga@bk.ru

Ключевые слова: соматический эмбриогенез, регенерация, клоны, гормоны, *Larix sibirica*

Исследование направлено на разработку критериев селекции эмбриогенных клеточных линий лиственницы сибирской с целью повышения эффективности соматического эмбриогенеза. Впервые комплексно изучены морфогенетические, гормональные и цитогенетические маркеры развития клонов «от клетки до дерева».

Первичный маркер соматического эмбриогенеза лиственницы: удлинение клеток и асимметричное деление с образованием инициальной и базальных клеток соматического зародыша. Формируется эмбрионально-супензорная масса (ЭСМ). Другой маркер связан с полярной локализацией гормонов в структурах соматического зародыша. Наиболее информативным является индолилуксусная кислота (ИУК): асимметричная локализация ее в удлиняемых клетках, а затем в структурах соматического зародыша. В пролиферирующих эмбриогенных клеточных линиях (5 мес., 1–2 года и 15 лет) в глобулах соматических зародышей происходит аккумуляция ИУК, зеатина и абсцизовой кислоты (АБК). Данные иммуноферментного анализа ЭСМ показали, что активно пролиферирующие клеточные линии характеризовались высоким содержанием ИУК, низким содержанием цитокининов и АБК. При длительной пролиферации происходит повышение уровня содержания ИУК и АБК, что вызывает ингибирование развития корневой меристемы при созревании соматических зародышей и развитию неполноценных регенерантов. Третий критерий селекции эмбриогенных культур — генетическая стабильность пролиферирующих клеточных линий. Молодые клеточные линии (возраст 1–2 года) сохраняют диплоидное число хромосом ($2n=24$) и проявляют слабую изменчивость по микросателлитным локусам и соответствие их материнскому дереву-донору. Клонированные деревья лиственницы сибирской из генетически стабильных клеточных линий в течение 13 лет успешно растут в почве лесопитомника (Красноярск). Клоны отличаются интенсивным ростом и сверхранним развитием генеративных органов (в семилетнем возрасте) и не повреждаются лиственничной почковой галлицей.

Разработанные критерии селекции позволяют эффективно управлять коллекцией эмбриогенных культур лиственницы сибирской и отбирать клеточные линии, способные формировать жизнеспособные соматические зародыши.

Исследования проведены в рамках базового проекта ФИЦ КНЦ СО РАН FWES-2024-0028.

SELECTION CRITERIA OF EMBRYOGENIC CELL LINES OF SIBERIAN LARCH

М.Е. Pak, И.Н. Третьякова

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS — separate division
of FRC KSC SB RAS 660036, Krasnoyarsk, Russia

Keywords: somatic embryogenesis, regeneration, clones, hormones, *Larix sibirica*

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ КУМАРИНОВ В РАСТЕНИИ И В КУЛЬТУРАХ КЛЕТОК

Ханды М.Т.^{1,2*}, Григорчук В.П.¹, Горпенченко Т.Ю.^{1,2}

¹ПИШ АТР Биомедицины и технологии сбереженья здоровья, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

²ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

*E-mail: handy_89@mail.ru

Ключевые слова: кумарины, культура клеток, вторичные метаболиты, фуранокумарины, пиранокумарины, бензофураны.

Вторичные метаболиты играют важную роль в жизни растений — они выполняют функцию защиты, участвуют в метаболических процессах, в росте и развитии, во взаимодействии с окружающей средой. Точные механизмы функционирования вторичных метаболитов активно исследуются. Хорошой экспериментальной моделью является культура растительных клеток. Однако, в отличие от клеток организма, образование вторичных соединений в культуре *in vitro* идёт в непрерывно пролиферирующих клетках, поэтому качественный и количественный состав этих соединений может существенно отличаться от такового в интактных растениях. Использование клеточных культур позволяет изучать образование вторичных метаболитов в контролируемых условиях и определять регуляторные механизмы. В наших исследованиях мы изучали образование полифенолов и кумаринов в культуре клеток.

Работа посвящена исследованию редких кумаринов растений *in vivo* и культур клеток Дальневосточных эндемиков рода *Phlojodicarpus* (*P. sibiricus* и *P. villosus*). В работе обобщается современное понимание классификации, строения, биосинтеза, распространения и биологической активности природных пиранокумаринов, сводятся разрозненные данные в единую схему биосинтеза. Исследование включает данные о составе и биологической активности экстрактов двух видов воздушноплодника — сибирского и мохнатого. Показано, что при наличии одного предшественника кумаринов — остеола, формирование специализированных групп веществ является видоспецифичным: фуранокумарины формируются во воздушноплоднике мохнатом (*P. villosus*), а пиранокумарины во воздушноплоднике сибирском (*P. sibiricus*). Вариабельность состава пиранокумаринов у одного вида — воздушноплодника сибирского из разных мест произрастания указывает на влияние внешних факторов на композицию и содержание этой узкой группы веществ. Раскрыта критическая важность использования масс спектрометрических методов при идентификации фурано- и пиранокумаринов, обладающих разными биологически активными свойствами. Доказано, что экстракты *P. sibiricus* и *P. villosus* обладают специфической активностью против некоторых прокариот. Получена и исследована культура клеток *P. sibiricus*, в которой формируется третья группа кумаринов. Полученные результаты имеют фундаментальное значение в понимании вторичного метabolизма растений и могут быть использованы для дальнейших разработок в области фармацевтики.

FEATURES OF COUMARIN ACCUMULATION IN PLANTS AND IN CELL CULTURES

Handy M.T.^{1,2}, Grigorchuk V.P.¹, Gorpchenko T.Yu.^{1,2}

¹PISH ATR Biomedicine and Health-Saving Technologies, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

²FNC Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

Keywords: coumarins, cell culture, secondary metabolites, furanocoumarins, pyranocoumarins, benzofurans.

ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В РАСТЕНИЯХ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE

Чирикова Н.К.¹, Оленников Д.Н.²

¹ФГАОУ ВО СВФУ имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия,

²ФГБУН ИОЭБ СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

E-mail: hofnung@mail.ru

Ключевые слова: растительное сырье; ВЭЖХ; фенольные соединения; flavonoids

Разработка инновационных продуктов на основе отечественного растительного сырья остаётся приоритетным направлением фитобиотехнологии и фармации. Проведённое исследование позволило оценить фенольный состав представителей родов *Dracocephalum*, *Scutellaria* и *Thymus* из семейства *Lamiaceae*, демонстрирующих накопление групп фенольных метаболитов. В надземной части *D. palmatum* было выявлено 23 соединения различных структурных типов, включая шесть фенилпропаноидов, два кумарины, тринадцать flavonoids и два тритерпена. Производные апигенина и лютеолина и кофейная кислота специфичны для этого рода, что отражает их важный хемосистематический характер. Из надземной части *D. palmatum* были выделены два новых гликозида эриодиктиола и лютеолина. Профилирование этанольных экстрактов трав и корней *D. austriacum* и *D. botryoides* привело к идентификации 50 соединений, среди которых присутствовали производные бензойной кислоты, фенилпропаноиды, flavonoids и лигнаны.

Анализ фенольного состава *S. titovii* и *S. catharticae* выявил 26 известных соединений и два новых O-гликозилированных flavona, что расширяет представление о химическом разнообразии этого рода. Дополнительное исследование *S. baicalensis*, проведённое с применением биостимуляторов, позволило обнаружить новые гликозиды байкалеина и вогонина. Данные результаты свидетельствуют о возможности модуляции фенольного профиля растений под влиянием агротехнических условий.

В составе эфирных фракций из травы *T. baicalensis* и *T. sibiricus* было обнаружено присутствие дигидрофлавонолов, flavonолов, причем наиболее представительной группой соединений были flavonoids. Основное отличие *T. baicalensis* и *T. sibiricus* заключалось в способности накапливать flavonoids с различным типом метоксилирования. В *T. reverdattoanus* было впервые выявлено присутствие 30 фенольных соединений. Отличительной особенностью данного вида от европейских представителей секции *Serpullum* является то, что он способен к биосинтезу тетраметоксилированных flavonов типа тимонин-4'-метилового эфира.

Полученные результаты указывают на перспективность изучения видов семейства *Lamiaceae* как источников различных фенольных соединений с целью их дальнейшего изучения в внедрения в практику профилактической и превентивной медицины.

Благодарности. Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России (FSRG-2023-0027).

PHENOLIC COMPOUNDS IN PLANTS OF THE FAMILY LAMIACEAE

Chirikova N.K.¹, Olennikov D.N.²

¹FSAOU HE NEFU named after M.K. Ammosova, Yakutsk, Russia,

²FGBUN IOEB SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Keywords: plant raw materials; HPLC; phenolic compounds; flavonoids

ВЛИЯНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ ПЛАЗМОЙ ВОДЫ, ПОЛУЧЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕДАХ, НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН МОРКОВИ РАЗНЫХ СОРТОВИПОВ

Минич А.С., Минич И.Б.

Томский государственный педагогический университет, г. Томск, Россия
minich@tspu.ru

Ключевые слова: *Daucus carata* subsp. *sativus*, качество семян, плазма, предпосевная обработка

Исследования применения активированной плазмой воды (PAW) показали ее потенциальную возможность для улучшения посевных качеств семян и повышения продуктивности растений, выращенных из них. Одним из способов получения плазмы является барьерный разряд. Обработка семян этой плазмой или PAW, полученной с ее использованием, модифицирует их поверхность. Активные частицы плазмы, проникая внутрь семени, усиливают их фитогормонную и ферментативную активность, что может активировать расход запасов семени и ускорять прорастание.

Одной из широко возделываемой культурой является морковь посевная. В литературе данные об использовании для обработки семян редиса PAW практически отсутствуют.

Цель работы: изучение влияния на качество семян моркови их предпосевной обработки PAW, полученной обработкой плазмой барьерного разряда в атмосфере аргона и углекислого газа.

Объект исследований — семена *Daucus carata* subsp. *sativus* четырёх сортов (Нантская 4, Королева осени, Шантанэ королевская и Курода Шантанэ) трёх сортотипов (Нантская, Флакке и Шантанэ).

Калиброванные семена обрабатывались в течение 6 часов PAW и дистиллированной водой, из которой получали PAW. 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. В качестве контроля использовались необработанные семена.

PAW получали обработкой воды барьерным разрядом в плазмохимическом реакторе с коаксиальным расположением электродов. Вода с рабочий газом смешивались и направлялась в реактор. Амплитуда высоковольтных импульсов напряжения составляла 8,1 кВ, частота повторения импульсов напряжения — 2000 Гц, активная мощность разряда ~ 5,6 Вт. Объемный расход газа равнялся 60 $\text{мл}\cdot\text{мин}^{-1}$, расход воды — 0,4 $\text{мл}\cdot\text{мин}^{-1}$. Величина разрядного промежутка составляла 1 мм, объем разрядной зоны — 13,2 см^3 , время контакта реакционной смеси с разрядной зоной реактора ~ 0,22 мин.

Обработка всех сортов семян моркови PAW способствует улучшению их посевных качеств. В зависимости от сорта моркови энергия прорастания и всхожесть семян относительно контроля повышается на 8–10% при обработке PAW, полученной в среде аргона, и на 10–17%, полученной в среде углекислого газа.

INFLUENCE OF PLASMA-ACTIVATED WATER OBTAINED IN VARIOUS GASES ON SOWING QUALITIES OF CARROT SEEDS OF DIFFERENT VARIETIES

Minich A.S., Minich I.B.

Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia

Keywords: *Daucus carata* subsp. *sativus*, seed quality, plasma, pre-sowing treatment

SECONDARY METABOLITES CHARACTERIZATION AND *IN VITRO* TISSUE CULTURE OF *GLEHニア LITTORALIS* FROM THE RUSSIAN FAR EAST

Adamu U.M.^{1*}, Khandy M.T.^{1,2}, Grigorchuk V.P.², Gorpchenko T.Y.^{1,2}

¹Asia-Pacific School of Advanced Engineering in Biomedicine and Healthcare Technologies, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.

²Federal Scientific Center of East-Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia.

*E-mail: adamu.um@dvfu.ru

Keywords: *Glehnia littoralis*, secondary metabolites, plant tissue culture, HPLC, Far Eastern plants

According to the literature, *Glehnia littoralis* exhibits considerable variability in secondary metabolite composition, particularly among populations from different countries. However, the Russian population of *G. littoralis*, the northernmost on the Eurasian continent, remains unstudied. This population may contain structurally unique compounds, some of which could be novel to science.

Although *G. littoralis* is widely used in traditional medicine, its pharmacological application is still developing. Meanwhile, the plant population is rapidly reducing due to overharvesting and tourism. In this context, *in vitro* cell culture offers a sustainable alternative for producing secondary metabolites in substantial quantities.

In this study, *G. littoralis* plants were collected from three locations in the Primorye Territory to assess their phytochemical profiles and initiate tissue cultures. Dried plant organs were analyzed using reversed-phase high-performance liquid chromatography coupled with mass spectrometry (RP-HPLC-UV-ESI-MS/MS²). Simultaneously, callus cultures were induced using various concentrations of auxins and cytokinins, which significantly influenced callus induction, morphology, friability, and root development. After months of subculturing, friable calli exhibiting organogenesis potential were selected and transferred to media containing IBA, BAP + NAA, or BAP on both full and half-strength MS medium.

HPLC analysis revealed a tissue-specific distribution of secondary metabolites: thirteen caffeic acid derivatives (21.84 ± 2.18 mg/g dry weight [dw] in leaves, 17.50 ± 3.45 mg/g dw in stems), seven coumarins (2.53 ± 0.07 mg/g dw, exclusively in roots), four anthocyanins (0.02 ± 0.00 mg/g dw in leaves, 0.62 ± 0.09 mg/g dw in stems), and three flavonoids (10.42 ± 1.96 mg/g dw, in leaves only). The concentrations varied based on the time and location of the collection. Plants from Population 3 collected in July showed the highest concentration of caffeic acid derivatives in leaves (21.84 ± 2.18 mg/g dw), followed by the same population collected in October (12.63 ± 0.06 mg/g dw), indicating a difference of nearly 50%. This indicates that the phytochemical composition of Russian *G. littoralis* is significantly variable and may be affected by environmental factors.

Furthermore, Russian samples exhibited higher levels of chlorogenic acid and rutin than those reported from Japan, Taiwan, China, and Korea. These findings highlight the importance of further investigating the Russian *G. littoralis* population. Lastly, plant tissue culture could facilitate the production of large quantities of *G. littoralis* to address wild plant extinction and satisfy the increasing pharmacological demands.



SakhaFluxNet - мега-система междисциплинарного изучения климатических и биогеохимических особенностей репрезентативных мерзлотных экосистем в якутском секторе криолитозоны, оценке состояния природной среды, выявления характера взаимодействия всех ее частей (атмосферы, биосфера, гидросфера, криолитосфера), их влияния на биоразнообразие для осуществления краткосрочного прогноза возможных направлений и последствий глобальных изменений природной среды.

Международная мега-установка SakhaFluxNet ИБПК СО РАН

Горизонтальная трансекта: репрезентативные мерзлотные экосистемы (лес - лесотундра - тундра, протяженность 1100 км)

Спутники - NASA Aqua, JAXA; воздушные суда и дроны - Ил-18, Ан-2, eBee; высотные вышки - 34 и 24 м и мачты; водные суда - лодки, катера, теплоходы

Вертикальная трансекта: атмосфера-биосфера-гидросфера-криолитосфера (до 3000м)

SakhaFluxNet создана в 2008 году на базе четырех научных станций ИБПК СО РАН в мерзлотных лесных, лесотундровых и тундровых экосистемах в субарктической и арктической зонах Северо-востока Российской Федерации.



По инструментальному обеспечению и объему изучаемых параметров мега-система не имеет мирового аналога.

Разработан **4 М** методический подход для исследований по изучению климата на локальном, региональном и глобальном уровнях и оценке секвестрации углерода мерзлотных экосистем:

1 М (мониторинг) - исследование по горизонтали и вертикали. Протяженность горизонтальной трансекты (юг-север) составляет 1100 км, включая научные станции SakhaFluxNet: «Эльгэйи», 60°с.ш., «Спасская падь», 62°с.ш., «Кодак», 70°с.ш. и «Чокурдах», 70°с.ш.. Уникальным элементом исследований является то, что научные станции расположены в типичной тундре, лесотундре и лесах различной продуктивности. В вертикальном направлении исследования (атмосфера-биосфера-гидросфера-криолитосфера) осуществляются с помощью космических (NASA, JAXA) и воздушных судов (Ил-18, Ан-2, БПЛА, eBee), охватывая термосферу (300 км), приземные и пограничные слои атмосферы (до 3 км), серии уникальных высотных вышек (до 34 м), а также водного и наземного транспорта;

2 М (манипуляции) - экспериментальные полевые и лабораторные исследования экосистем и растений с моделированием существующих проекций и сценариев изменения климата;

3 М (моделирование) - применение математических моделей и искусственного интеллекта при обработке эксклюзивного массива многолетних данных 1М и 2М для реконструкции и прогноза;

4 М (менеджмент) - использование результатов трансдисциплинарных исследований для взаимодействия фундаментальной науки и общества, заинтересованных сторон и лиц, принимающих решение посредством научной дипломатии и научно ориентированного образования.

Для контакта: tcmax@mail.ru, тел. 8 (914) 235 53 54. д.б.н. Максимов Трофим Христофорович

SkyGen Kits NA

Широкий выбор наборов реагентов для выделения
и очистки ДНК и РНК из клеток, тканей,
дрожжей, нестандартных и редких образцов



Артикул: EDC336



Артикул: ERC441

Набор "SKYamp Soil DNA Kit"

Набор предназначен для выделения ДНК из различных образцов почвы на микроцентрифужных колонках. В SkyAmp Soil используется буферная система, с помощью которой можно полностью удалить гуминовую кислоту из образца, а также гомогенизирующие частицы диаметром 1 мм, гарантирующие целостность ДНК.

Набор предназначен для работы с красной почвой, пылью, шламом и другими специфическими образцами почвы.

- Технология выделения: на спин-колонках
- Тип НК: ДНК
- Формат: Набор
- Тип биоматериала: Почва



Набор "SKYprep RNA Pure Plant Plus Kit"

Набор предназначен для выделения тотальной РНК из растительных тканей на микроцентрифужных колонках.

В состав набора входит уникальный буфер СЛ, оптимально лизирующий растительные ткани. Общее время выделения составляет 1 час.

Набор протестирован на мякоти бананов, арбузов, яблок, груш, клубнях картофеля, а также листьях хлопчатника, розы, люцерны, риса и белой сосновой хвои.

- Технология выделения: на спин-колонках
- Тип НК: РНК
- Формат: Набор
- Тип биоматериала: Растения



SkyGen

kits.skygen.com • 8 (800) 333-12-26 • для заказа: sales@skygen.com

Электронное научное издание

**РАСТЕНИЯ В ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ КЛИМАТЕ:
АДАПТАЦИЯ, УСТОЙЧИВОСТЬ
И ПРОДУКЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС**

Выпускающий редактор Г.А. Письменная
Подготовка оригинал-макета О.В. Майер

Подписано к использованию 29.06.2025. Формат 60x84/8.
Усл. печ. л. 29,3. Заказ 2274.

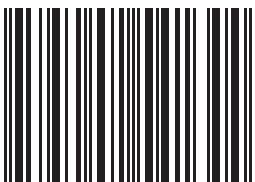
Издательство «Бук». 420029, г. Казань, ул. Академика Кирпичникова, д. 25.



БУК

ИЗДАТЕЛЬСТВО
www.bukbook.ru

ISBN 978-5-00254-130-0



9 785002 541300