



РЕСПУБЛИКА  
БАШКОРТОСТАН

ЕВРАЗИЙСКИЙ  
НОЦ  
БАШКОРТОСТАН



УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

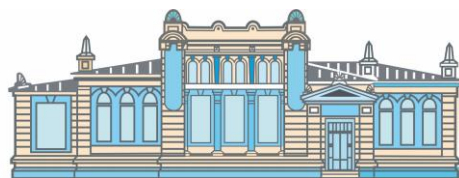
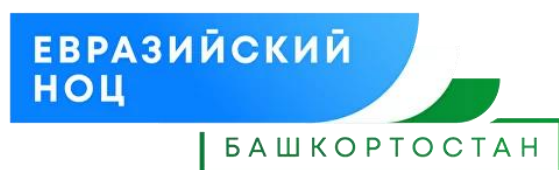
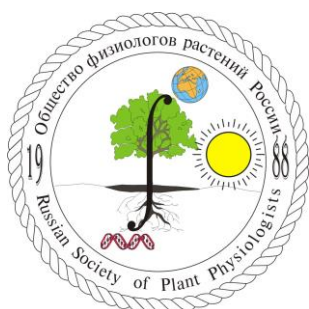


**СЪЕЗД ОБЩЕСТВА  
ФИЗИОЛОГОВ РАСТЕНИЙ  
РОССИИ**

---

**УФА 2023**

Министерство науки и высшего образования РФ  
Российская академия наук  
Правительство Республики Башкортостан  
Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН  
Уфимский институт биологии УФИЦ РАН  
Институт биохимии и генетики УФИЦ РАН  
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН  
Уфимский университет науки и технологий  
Южно-Уральский ботанический сад-институт УФИЦ РАН  
Башкирский НИИ сельского хозяйства УФИЦ РАН  
АНО «Центр поддержки академических инициатив»



УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

# «БИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ В ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА»

Х Съезд общества  
физиологов растений России  
Всероссийская научная конференция  
с международным участием

Уфа, 18-23 сентября 2023 г.

ISBN 978-5-6047532-1-7



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Уфа 2023

**ББК 28.573 я431**  
**УДК 581.1(061)**  
**Д37**

X Съезд общества физиологов растений России «Биология растений в эпоху глобальных изменений климата» (Уфа, 18-23 сентября 2023 г.): тезисы докладов. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 4,62 Мб). – Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2023. – 422 с. – Систем. требования: Adobe Reader. – Режим доступа: <https://ufa2023.ofr.su/AbstractCongressUfa2023.pdf>. – Загл. с титул. экрана.

**ISBN 978-5-6047532-1-7**

Сборник содержит тезисы докладов, представленных в рамках X Съезда общества физиологов растений России. Научная программа съезда отражает современный уровень состояния экспериментальной биологии растений, ориентирует ученых на будущие тенденции развития фундаментальной науки и на решение стоящих перед человечеством глобальных проблем, связанных с изменением климата. В рамках съезда представлены 18 пленарных докладов, 116 секционных докладов, 64 флэш-презентации, 148 стендовых сообщений и проведена школа молодых ученых «Генетическое редактирование растений CRISPR/Cas». Материалы съезда посвящены рассмотрению целого ряда актуальных научных направлений экспериментальной биологии растений: рост и развитие растений; сигнальные системы: от клетки к целому растению; устойчивость растений к абиотическим факторам среды; водный обмен и минеральное питание; патогенез и иммунитет растений; фотосинтез, дыхание и продукционный процесс; взаимодействие между организмами в агро- и биоценозах; биоразнообразие; физиология трансгенных растений и растений с отредактированным геномом; молекулярные основы физиологии и селекции растений; биотехнология растений; физиологические основы интенсификации растениеводства и охраны окружающей среды и феномика растений.

Вся ответственность за достоверность предоставленных в сборнике материалов несут авторы соответствующих тезисов. Тезисы публикуются без корректуры с сохранением авторской орфографии и пунктуации.

© Оформление: УИБ УФИЦ РАН, 2023

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОСТА КОЛЕОПТИЛЕЙ СОРТОВ РИСА ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ФЕДЕРАЛЬНОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РИСА ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ

Богданова Е.М.<sup>1\*</sup>, Бертова А.Д.<sup>1</sup>, Бикташева М.О.<sup>1</sup>, Кирпичникова А.А.<sup>1</sup>, Кондратьева А.В.<sup>1</sup>, Шапиро А.С.<sup>1</sup>, Пузанский Р.К.<sup>2</sup>, Мухина Ж.М.<sup>3</sup>, Емельянов В.В.<sup>1</sup>, Шишова М.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр риса», г. Краснодар, Россия

E-mail: [bogdanova.ekaterina15@gmail.com](mailto:bogdanova.ekaterina15@gmail.com)

Отличительная особенность риса заключается в способности прорасти в условиях недостатка (гипоксия) или полного отсутствия кислорода (аноксия). На этапе прорастания первым развивается coleoptile – ювенильный орган, выполняющий у злаков защиту настоящего листа. Растения риса используют две стратегии адаптации к дефициту кислорода. Первая стратегия направлена на активное избегание кислородной недостаточности за счёт стимуляции роста (LOES – low oxygen escape syndrome), а вторая – пассивная стратегия покоя, торможения роста (LOQS – low oxygen quiescence syndrome). Цель данной работы состояла в оценке скорости роста и жизнеспособности coleoptiles в условиях затопления сортов и сортообразцов риса из коллекции ФНЦ риса, г. Краснодар. Суммарно было протестировано 36 сортов. К быстрорастущим сортам были отнесены сорта Спринт и Кубань 3. В группу медленнорастущих вошли три сорта филиппинской селекции, несущие аллель SUB1A (NHZ11 Y6-Y2-SUB1, NHZ8 SAL 14 SUB1, NHZ9 DT12 SUB1), китайский сорт Xiannu и отечественные сорта Аметист, Жемчуг, Наташа, Рапан и Южная ночь. Анализ роста coleoptiles в условиях гипоксии показал, что изменения роста соответствовали нескольким паттернам. У первой группы подавлялся рост, но с сохранением небольшой части растений, продолжавших рост. В эту группу вошли все филиппинские сорта-носители аллели SUB1A. Вторую группу составляли растения, длина которых под действием гипоксии превышала нормоксию. Половина растений третьей группы замедляла рост, а другая часть продолжала расти как при нормоксии. В четвертую группу вошел сорт Спринт. У него наблюдались черты стратегии избегания (LOES). У сорта Южная ночь coleoptile росли медленно как в контроле, так и при затоплении. С помощью тетразолиевого теста показано, что в условиях гипоксии у всех протестированных форм жизнеспособность значительно снижалась. Скорость роста коррелировала с интенсивностью метаболизма и устойчивостью к затоплению.

Работа поддержана грантом РФФ №22-14-00096.

**Ключевые слова:** рис, затопление, гипоксия, coleoptile, рост, устойчивость

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GROWTH OF COLEOPTILE RICE VARIETIES FROM THE COLLECTION OF THE FEDERAL RICE SCIENTIFIC CENTER DURING FLOODING

Bogdanova E.M.<sup>1\*</sup>, Bertova A.D.<sup>1</sup>, Biktasheva M.O.<sup>1</sup>, Kirpichnikova A.A.<sup>1</sup>, Kondratieva A.V.<sup>1</sup>, Shapiro A.S.<sup>1</sup>, Puzanskiy R.K.<sup>2</sup>, Mukhina Z.M.<sup>3</sup>, Yemelyanov V.V.<sup>1</sup>, Shishova M.F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State University”, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Institution of Science “V.L. Komarov Botanical Institute” RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center for Rice”, Krasnodar, Russia

\*E-mail: [bogdanova.ekaterina15@gmail.com](mailto:bogdanova.ekaterina15@gmail.com)

**Keywords:** rice, submergence, hypoxia, coleoptile, growth, tolerance



## ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ РАСТЕНИЙ К ДЕФИЦИТУ КИСЛОРОДА И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕАЭРАЦИИ

**Емельянов В.В.**

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: [bootika@mail.ru](mailto:bootika@mail.ru)

В природных экосистемах и агроценозах растения часто оказываются в условиях избыточного увлажнения или затопления, которые приводят к дефициту кислорода (гипоксии), а длительное присутствие застойных вод способствует развитию полного отсутствия кислорода (аноксии). Возвращение нормальных условий аэрации, например при уходе паводковых вод, активизирует процессы постгипо/аноксического окисления. Подобное воздействие называется реэрацией или реоксигенацией. Способность адаптироваться к кислородной недостаточности связана с наличием у растений различных приспособлений, многие из которых опосредованы существенными изменениями обмена веществ. Метаболическое профилирование с помощью ГХ-МС выявило существенные изменения в метаболомах исследованных растений при недостатке кислорода. У пшеницы (неустойчивое растение) аноксия приводила к уменьшению спектра дисахаридов и накоплению пирувата, лактата, пролина и ГАМК. У риса (устойчивое растение) накапливались сукцинат, фумарат, пролин, ГАМК и аланин, а также эфиры жирных кислот, что может быть следствием активации липидного обмена. Сукцинат, аланин и ГАМК являются важными анаэробными метаболитами, образующимися в анаэробных путях реокисления НАД(Ф)Н. Перераспределение значимости сахаров и органических кислот выявлено у обоих растений, что определялось активацией гликолиза, брожений и альтернативных путей реокисления НАД(Ф)Н. Краткосрочная реоксигенация почти не оказывала воздействия на метаболомы, которые группировались вместе с анаэробными, особенно при продолжительных сроках аноксии. Длительная реэрация способствовала сдвигам метаболомов в сторону нормы, особенно у риса. Уровень сложных сахаров, аминокислот, стероидов и жирных кислот возрастал, а анаэробных метаболитов - уменьшался. Сходные с рисом изменения метаболома были продемонстрированы и для дикорастущих растений-гидрофитов, обитающих в условиях дефицита кислорода.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (проект № 22-24-00484).

**Ключевые слова:** метаболомика, кислородная недостаточность, реэрация, пшеница, рис, гидрофиты

## PECULIARITIES OF METABOLIC ADAPTATION OF PLANTS TO OXYGEN DEFICIENCY AND SUBSEQUENT REAERATION

**Yemelyanov V.V.**

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

**Keywords:** metabolomics, oxygen deficiency, re-aeration, wheat, rice, hydrophytes

## РОЛЬ $H^+$ -АТФАЗЫ ПЛАЗМАЛЕММЫ В ПРОЦЕССЕ РОСТА КЛЕТОК КОЛЕОПТИЛЕЙ ПРОРОСТКОВ РИСА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА КИСЛОРОДА

**Кирпичникова А.А.**<sup>\*</sup>, Бикташева М.О., Богданова Е.М., Бертова А.Д.,  
Кондратьева А.В., Смирнов П.Д., Емельянов В.В., Шишова М.Ф.

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>\*</sup>E-mail: [nastin1972@mail.ru](mailto:nastin1972@mail.ru)

Рост растяжением клеток coleoptилей злаков зависит от активности  $H^+$ -АТФазы плазмалеммы (ПМ). Однако, данные о транскрипционной активности генов, кодирующих этот фермент-транспортер, в условиях гипоксии полностью отсутствуют. Анализ экспрессии генов семейства  $H^+$ -АТФаз ПМ (суммарно 10 генов) было проведено нами на модельных сортах, контрастных по скорости роста coleoptилей на 3, 5 и 7 день развития, на этапах изменения интенсивности роста. Для медленно растущих проростков сорта Аметист накопление продуктов транскрипции в условиях нормоксии отмечено усиление экспрессии генов *OSA3*, 5 и 7. Наибольшие изменения (12 кратные) были характерны для гена *OSA3*. Тем самым, повышение экспрессии генов интереса соответствовало усилению роста coleoptилей. Однако при недостатке кислорода экспрессия всех тестируемых генов была практически недетектируемой. В coleoptилях быстрорастущего сорта Кубань 3 при нормоксии накопление продуктов на 5 день было детектировано для 7 из 10 генов семейства. Наибольшим накоплением продуктов экспрессии отличался ген *OSA3* (20-кратное). В условиях гипоксии для всех генов, за исключением *OSA3*, было зарегистрировано накопление продуктов транскрипции, причем в ряде случаев (*OSA7* и *OSA10*) это накопление было почти 30-кратным. Максимум был зарегистрирован на 7 сутки развития проростков. Полученные данные позволяют предположить, что недостаток кислорода вызывает различный адаптивный ростовой ответ у медленно- и быстрорастущего сорта, что опосредовано изменением профиля экспрессии генов, кодирующих  $H^+$ -помпу ПМ.

Работа выполнена при поддержке РФФ, грант № 22-14-00096.

**Ключевые слова:** coleoptили риса, гипоксия,  $H^+$ -АТФазы плазмалеммы.

## THE ROLE OF PLASMA MEMBRANE $H^+$ -ATPASE DURING THE GROWTH OF COLEOPTILE CELLS IN RICE SEEDLINGS UNDER OXYGEN DEPRIVATION.

**Kirpichnikova A.A., Biktasheva M.O., Bogdanova E.M., Bertova A.D.,  
Kondratieva A.V., Smirnov P.D., Yemelyanov V.V., Shishova M.F.**

St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

**Keywords:** rice coleoptile, hypoxia,  $H^+$ -ATPase plasma membrane.

## МЕТАБОЛИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛИСТЬЕВ МЕЗОФИТНОГО И ГИДРОФИТНЫХ ВИДОВ КИПРЕЯ

Смирнов П.Д.<sup>1\*</sup>, Пузанский Р.К.<sup>1,2</sup>, Ванисов С.А.<sup>1</sup>, Дубровский М.Д.<sup>1</sup>, Шаварда А.Л.<sup>1,2</sup>, Емельянов В.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: [p.d.smirnov@gmail.com](mailto:p.d.smirnov@gmail.com)

Проблемы адаптации к кислородной недостаточности чаще всего изучаются на представителях культурных растений или модельных объектах, которые в большинстве своем слабоустойчивы к гипоксии. Исследования, посвященные адаптивным механизмам флоры водных экосистем, практически отсутствуют. К числу таких растений можно отнести представителей рода Кипрей (*Epilobium* L.).

В настоящем исследовании проведено метаболическое профилирование листьев двух гидрофитных и мезофитного вида кипреев для выявления наиболее характерных изменений метаболома, свойственных устойчивым к дефициту кислорода растениям. С помощью ГХ-МС нами были проанализированы метаболитные профили листьев *Epilobium angustifolium* (мезофит), *E. hirsutum* и *E. palustre* (гидрофиты). Полученные профили включали около 360 соединений, из которых было идентифицировано около 70 соединений, еще для примерно 50 соединений был определен класс.

Для выявления сходств и различий метаболомов был применен метод главных компонент (PCA). По главной компоненте 1, объясняющей 28,6 % дисперсии, профиль метаболитов *E. angustifolium* резко отличался от таковых двух других видов, практически неотличимых друг от друга.

Для выявления метаболитов, характерных для мезофита и гидрофитов, мы применили дискриминантный анализ методом ортогональных проекций на латентные структуры (OPLS-DA). Таким образом, были выявлены различия метаболитных профилей мезофита и гидрофитов. Метаболиты гидрофитных кипреев практически не отличались друг от друга и характеризовались аккумуляцией аминокислот, в том числе интермедиатов ГАМК-шунта, дикарбоновых кислот цикла Кребса и метаболитов гликолиза и молочнокислого брожения, что отражает стимуляцию у них анаэробного дыхания, азотного обмена и альтернативных путей реокисления НАД(Ф)Н. Подобные изменения характерны и для других устойчивых к дефициту кислорода растений и могут быть использованы для оценки степени устойчивости к кислородной недостаточности.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 22-24-00484).

**Ключевые слова:** гипоксия; гидрофиты; мезофит; метаболомика; ГХ-МС; *Epilobium*

## METABOLITE PROFILING OF LEAVES OF MESOPHYTIC AND HYDROPHYTIC FIREWEED SPECIES

Smirnov P.D.<sup>1</sup>, Puzanskiy R.K.<sup>1,2</sup>, Vanisov S.A.<sup>1</sup>, Dubrovskiy M.D.<sup>1</sup>, Shavarda A.L.<sup>1,2</sup>, Yemelyanov V.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

**Keywords:** hypoxia; hydrophytes; mesophyte; metabolomics; GC-MS; *Epilobium*

## ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОТВЕТА КОРНЕЙ И ПОБЕГОВ РИСА НА АНОКСИЮ И ПОСТАНОКСИЧЕСКУЮ РЕАЭРАЦИЮ

Шиков А.Е.<sup>1,2</sup>, Шость В.И.<sup>2</sup>, Чиркова Т.В.<sup>2</sup>, Емельянов В.В.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ), Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

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

\*E-mail: [bootika@mail.ru](mailto:bootika@mail.ru)

Последствия, вызванные затоплением и наводнениями, ежегодно приводят к большим потерям урожая. В условиях отсутствия доступа кислорода (аноксии) происходит накопление активных форм кислорода (АФК), провоцирующих окисление клеточных компонентов. Возвращение растений в условия нормальной аэрации усугубляет окислительный стресс и зачастую приводит к их гибели. В связи с этим важно понимание механизмов устойчивости к постаноксии. С этой целью нами было проведено исследование влияния аноксии и реэрации на протеом корней и побегов риса методом двумерного электрофореза. В результате масс-спектрометрического анализа было выявлено 82 пятна, соответствующих имеющим аннотации в базах данных 13 уникальным белкам в побегах и 8 в корнях. Кластеризация пятен показала, что постаноксический протеом схож с таковым в условиях аноксии, но не контроля. Анализ отдельных белков позволил выделить 4 группы с различной интенсивностью пятен. Наиболее интересными из них являются белки, содержание которых уменьшалось в стрессовых условиях, такие как рубиско и фруктозо-бисфосфат-альдолаза. Во второй группе были белки, накопление которых начиналось в аноксии и достигало пика в реэрации. К ним относились OEE1 (oxygen-evolving enhancer protein 1), белки теплового шока и PR-белки (pathogenesis-related), потенциально связанные с защитой окислительного стресса и патогенов, устойчивость к которым падает при реэрации. Промоторы генов, кодирующих эти белки, были обогащены сайтами связывания транскрипционных факторов, связанных со стрессом, в частности, WRKY и ERF. Полученные результаты свидетельствуют о том, что корни и побеги риса становятся преадаптированными к постстрессовым условиям во время аноксии.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2022-320 от 20.04.2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

**Ключевые слова:** постаноксия, аноксия, рис, 2-DIGE

## STUDYING DIFFERENTIAL RESPONSE OF RICE SHOOTS AND ROOTS TO ANOXIA AND POST-ANOXIC RE-ARATION

Shikov A.E.<sup>1,2</sup>, Shost V.I.<sup>2</sup>, Chirkova T.V.<sup>2</sup>, Yemelyanov V.V.<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), Pushkin, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\*E-mail: [bootika@mail.ru](mailto:bootika@mail.ru)

**Keywords:** post-anoxia, anoxia, rice, 2-DIGE