

РИСОВОДСТВО

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 1684-2464

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр риса»
Издается с 2002 года. Периодичность – 4 выпуска в год
Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук, на соискание ученой степени кандидата наук. Дата включения издания в перечень – 6 июня 2017 года.

Главный редактор - **С.В. Гаркуша (ФГБНУ «ФНЦ риса»)** - член-корреспондент РАН, д-р с.-х. наук
Заместитель главного редактора - **В.С. Ковалев (ФГБНУ «ФНЦ риса»)** - д-р с.-х. наук, профессор
Научный редактор - **Н.Г. Туманян (ФГБНУ «ФНЦ риса»)** - д-р биол. наук, профессор
Редакционная коллегия:

4.1.1. Общее земледелие, растениеводство
(сельскохозяйственные науки, биологические науки)
И.В. Аброва (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко») - академик РАН, д-р с.-х. наук
В.А. Ладатко (ФГБНУ «ФНЦ риса») - канд. с.-х. наук
Е.М. Харитонов (ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина») - академик РАН, д-р соц. наук

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений
(сельскохозяйственные науки, биологические науки)
Джао Ньянли (Ляонинская Академия с.-х. наук, Китай) - Ph.D
Е.В. Дубина (ФГБНУ «ФНЦ риса») - профессор РАН, д-р биол. наук **Л.В. Есаулова (ФГБНУ «ФНЦ риса»)** - канд. биол. наук
Г.Л. Зеленский (ФГБНУ «ФНЦ риса») - д-р с.-х. наук, профессор
П.И. Костылев (ФГБНУ «АНЦ «Донской») - д-р с.-х. наук, профессор
Массимо Билони (Итальянская экспериментальная рисовая станция) - Ph.D
Ж.М. Мухина (ФГБНУ «ФНЦ риса») - д-р биол. наук
М.А. Скаженик (ФГБНУ «ФНЦ риса») - д-р биол. наук
А.И. Супрунов (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко») - д-р с.-х. наук

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
(сельскохозяйственные науки, биологические науки)
Т.Ф. Бочко (ФГБОУ ВО «КубГУ») - канд. биол. наук
А.Х. Шеуджен (ФГБНУ «ФНЦ риса») - академик РАН, д-р биол. наук
О.А. Гуторова (ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И. Т. Трубилина») - д-р биол. наук
О.А. Подколзин (ФГБУ «РосАгрохимслужба») - член-корреспондент РАН, д-р с.-х. наук

4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (сельскохозяйственные науки, биологические науки, технические)
И.А. Ильина (ФГБНУ СКФНЦСВ) - д-р техн. наук
С.В. Королева (ФГБНУ «ФНЦ риса») - канд. с.-х. наук
А.В. Солдатенко (ФГБНУ «ФНЦ овощеводства») - академик РАН, д-р с.-х. наук
О.Н. Пышная (ФГБНУ «ФНЦ овощеводства») - д-р с.-х. наук, профессор

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика
(сельскохозяйственные, биологические, технические)
Н.Н. Дубенок (ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева») - академик РАН, д-р с.-х. наук
С.В. Кизинек (ФГБНУ «ФНЦ риса», РПЗ «Красноармейский им. А.И. Майстренко») - д-р с.-х. наук
Ю.В. Чесноков (ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт») - член-корреспондент РАН, д-р биол. наук

Переводчик: **И.С. ПАНКОВА (ФНЦ риса)**
Корректор: **С.С. ЧИЖИКОВА (ФНЦ риса)**

Адрес редакции:
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3
E-mail: arrri_kub@mail.ru, «В редакцию журнала»
Научный редактор: тел.: (861) 205-15-55 доб. 146

Свидетельство о регистрации СМИ № 019255 от 29.09.1999, выдано Государственным комитетом РФ по печати.

В журнале публикуются оригинальные статьи проблемного и научно-практического характера, представляющие собой результаты исследований по физиологии, биотехнологии, биохимии, агрохимии; методические рекомендации по использованию сортов в различных почвенно-климатических регионах; сообщения о селекционных и семеноводческих достижениях; рассмотрение производственных и экономических проблем отрасли; а также обзорные, систематизирующие, переводные статьи, рецензии.

RISE GROWING

SCIENTIFIC RESEARCH AND PRODUCTION MAGAZINE

Founder: Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Rice Centre»
Published since 2002. Periodicity 4 issues a year

Journal is included into List of Leading peer-reviewed journals and publications, where basic scientific results of doctoral dissertations and Ph.D. dissertations should be published. Date of issue inclusion into the list – Juny 6th 2017.

Chief editor - **S.V. Garkusha (FSBSI «FSC of Rice»)** - Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of agriculture
Deputy Chief Editor - **V.S. Kovalev (FSBSI «FSC of Rice»)** - Dr. of agriculture, professor

Scientific editor - **N.G. Tumanyan (FSBSI «FSC of Rice»)** - Dr. of biology, professor
Editorial board:

4.1.1. General agriculture, crop production
(agricultural sciences, biological sciences)

I.B. Ablova (FSBSI «NGCenter named after P.P. Lukyanenko») - Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of agriculture
V.A. Ladatko (FSBSI «FSC of Rice») - Ph.D. in agriculture
E.M. Kharitonov (FSBSI HE Kuban SAU named after I. T. Trubilin) - Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Social Sciences.

4.1.2. Breeding, seed production and biotechnology of plants
(agricultural sciences, biological sciences)

Zhao Nianli (Liaoning Academy of Agricultural Sciences, China) - Ph.D.

E.V. Dubina (FSBSI «FSC of Rice») - Professor of the Russian Academy of Sciences, Dr. of biology

L.V. Esaulova (FSBSI «FSC of Rice») - Ph.D. in biology

G.L. Zelensky (FSBSI «FSC of Rice») - Dr. of agriculture, professor

P.I. Kostylev (FSBSI «ARC «Donskoy») - Dr. of agriculture, professor

Massimo Biloni (Italian Rice Experimental Station) - Ph.D.

Zh.M. Mukhina (FSBSI «FSC of Rice») - Dr. of biology

M.A. Skazhennik (FSBSI «FSC of Rice») - Dr. of biology

A.I. Suprunov (FSBSI «NGC named after P.P. Lukyanenko») - Dr. of agriculture

4.1.3. Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine
(agricultural sciences, biological sciences)

T.F. Bochko (FSBSI HE «KubSU») - Ph.D. in biology

A.Kh. Sheudzhen (FSBSI «FSC of Rice») - Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of biology

O.A. Gutorova (FSBSI HE Kuban SAU named after I. T. Trubilin) - Dr. of biology
O.A. Podkolzin (FSBSI «Rosagrokhimluzhba») - Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of agriculture

4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops
(agricultural sciences, biological sciences, technical sciences)

I.A. Ilyina (FSBSI NCFS for Horticulture, Viticulture, Winery) - Dr. of technical science

S.V. Koroleva (FSBSI «FSC of Rice») - Ph.D. in agriculture

A.V. Soldatenko (FSBSI «FSC of Vegetable Growing») - Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of agriculture

O.N. Pyshnaya (FSBSI «FSC of Vegetable Growing») - Dr. of agriculture, professor

4.1.5. Land reclamation, water management and agrophysics
(agricultural sciences, biological sciences, technical sciences)

N.N. Dubenok («RSAU Moscow Timiryazev Agricultural Academy») - Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. of agriculture S.V.

Kizinek (FSBSI «FSC of Rice»), Rice farm «Krasnoarmeysky named after A.I. Maistrenko» - Dr. of agriculture

Yu.V. Chesnokov (FSBSI «Agrophysical Research Institute») - Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of biology

Interpreter **I. S. PANKOVA (FSC of rice)**

Proofreader: **S.S. CHIZHIKOVA (FSC of rice)**

Address:

3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

E-mail: arrri_kub@mail.ru, «Attn. Editors of the Magazine»

Scientific Editor: tel. (861) 205-15-55 ext. 146

Mass Media Registration Certificate № 019255 dd. 29.09.1999, issued by National Press Committee of the Russian Federation.

The magazine features original articles addressing problem areas and applied scientific research results (namely, those related to physiology, biotechnology, biochemistry and agrochemistry); methodological recommendations on the use of rice varieties in various soil and climatic regions; reports on breeding and seed growing achievements; reviews of production and financial issues faced by the industry; overviews, systematizations, translations and reviews of articles.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

Джамирзе Р.Р.

Современное рисоводство России как стратегическая отрасль сельского хозяйства в обеспечении продовольственной безопасности страны (обзор)

6

Савенко Е.Г., Коротенко Т.Л.

Генотипические особенности образцов риса с разным типом зерна для оптимизации применения клеточных технологий *in vitro* по стабилизации исходных селекционных форм

14

Чухирь И.Н., Чухирь Н.П., Троян Р.Н.

Влияние доминирования генов, определяющих продуктивность, на урожайность гибридов риса

25

Королёва С.В., Шумилова Е.В., Полякова Н.В., Пистун О.Г.

Создание исходного материала баклажана (*Solanum melongena*) для гетерозисной селекции

31

Парпуренко Н.В., Огняник Л.Г., Лемещенко Р.А., Малаканова В.П., Сергиенко И.Н.

Сравнительная оценка стерильности материнских родительских форм гибридов кукурузы в разных почвенно-климатических условиях

41

Нечипоренко И.В., Сергеева К.С., Акимова С.В., Буланов А.Е., Севостьянов М.А.

Особенности адаптации голубики полувысокой в мини-парниках к условиям *ex vitro*

47

Горшков О.А., Волкова Е.Н., Спиридонова М.В., Эзерина Е.М., Кулешова Т.Э.

Влияние спектрального состава светодиодного освещения на динамику роста и морфометрические показатели салата ромэн

54

Зорин Д.А.

Оценка форм клоновых подвоев яблони в коллекционном маточнике в условиях Среднего Предуралья

64

Шпанев А.М.

Влияние йодистого калия на поражение ярового ячменя корневыми гнилями в условиях Северо-Запада России

71

СОДЕРЖАНИЕ

Журавлёва А.С., Ямалова Н.Р., Зезюльчик А.Ю., Хомяков Ю.В., Вертебный В.Е., Дубовицкая В.И., Семёнов К.Н., Артемьевая А.М., Панова Г.Г.	
Сравнительная оценка реакции листовых капустных культур вида <i>Brassica rapa</i> L. на некорневую обработку полигидроксилированным производным фуллерена C ₆₀ в регулируемых условиях интенсивной светокультуры	78
Захарова И.А., Юмашев Х.С., Шаталина Л.П., Лопухов П.М.	
Влияние азотного питания на биологическую активность почвы на различных фонах обеспеченности фосфором	89
Еремеева А.Н.	
История рисоводства в Краснодарском крае: опыт музейной репрезентации	98

TABLE OF CONTENTS

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Dzhamirze R.R. Modern rice cultivation in Russia as a strategic agricultural sector of ensuring the country's food security (review)	6
Savenko E.G., Korotenko T.L. Genotypic characteristics of rice samples with different grain types to optimize the use of in vitro cell technologies for stabilization of original breeding forms	14
Chukhir I.N., Chukhir N.P., Troyan R.N. The effect of the dominance of productivity-determining genes on the yield of rice hybrids	25
Korolyova S.V., Shumilova E.V., Polyakova N.V., Pistun O.G. Development of eggplant (<i>Solanum melongena</i>) source material for heterotic breeding	31
Parpurenko N.V., Ognyanik L.G., Lemeshchenko R.A., Malakanova V.P., Sergienko I.N. Comparative assessment of the sterility of maternal parent forms of corn hybrids in different soil and climatic conditions	41
Nechiporenko I.V., Sergeeva K.S., Akimova S.V., Bulanov A.E., Sevostyanov M.A. Features of half-high blueberries adaptation to ex vitro conditions in mini-greenhouses	47
Gorshkov O.A., Volkova E.N., Spiridonova M.V., Ezerina E.M., Kuleshova T.E. Influence of led lighting spectral composition on growth dynamics and morphometric parameters of romaine lettuce	54
Zorin D.A. Evaluation of forms of clonal apple rootstocks in a collection mother plantation in the conditions of the Middle Urals	64
Shpanev A.M. Effect of potassium iodide on the spring barley damage by root rot in the conditions of north-west Russia	71

TABLE OF CONTENTS

Zhuravleva A.S., Yamalova N.R., Zezulchik A.Yu., Khomyakov Yu.V., Vertebny V.E., Dubovitskaya V.I., Semenov K.N., Artemyeva A.M., Panova G.G.	
Comparative evaluation of the response of leafy brassic crops of the species <i>Brassica rapa</i> L. to folio treatment with a polyhydroxylated derivative of fullerene C ₆₀ under controlled conditions of intensive light culture	78
Zakharova I.A., Yumashev Kh.S., Shatalina L.P., Lopukhov P.M.	
Influence of nitrogen nutrition under various backgrounds of phosphorus supply on soil biological activity	89
Eremeeva A.N.	
History of rice growing in Krasnodar territory: experience of representation in museums	98

СОВРЕМЕННОЕ РИСОВОДСТВО РОССИИ КАК СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ОТРАСЛЬ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ (ОБЗОР)

В условиях глобальных климатических изменений и geopolитических вызовов обеспечение продовольственной безопасности России приобретает стратегическое значение. Особое место в структуре внутреннего продовольственного баланса занимает рис (*Oryza sativa L.*), который является важным источником углеводов, белков, витаминов и минеральных веществ, а также незаменимым продуктом детского и диетического питания. В отличие от других зерновых культур рис используется преимущественно в виде крупы, что определяет его высокую востребованность на внутреннем рынке. Целью исследования является рассмотрение современного состояния и перспектив развития рисоводства в России как ключевого фактора импортозамещения и продовольственной независимости. Проведен анализ региональной структуры производства. Валовой сбор риса в стране стабильно превышает 1 млн тонн в год, а уровень самообеспеченности составляет более 90 %. Отмечено, что значимую роль в развитии отрасли играет селекционная работа, направленная на создание высокоурожайных сортов, устойчивых к засухе, засолению почв и фитопатогенам. Рассмотрены аграрно-экономические и экологические аспекты возделывания культуры: высокая энергоемкость производства, зависимость от состояния ирригационной инфраструктуры, необходимость внедрения технологий точного земледелия и природосберегающих методов. Особое внимание уделено мерам государственной поддержки – субсидиям на мелиорацию и закладку чеков, финансированию научных исследований, развитию отечественного семеноводства. Подчёркнуто, что перспективы отрасли связаны с внедрением цифровых технологий, биотехнологий и расширением производства органического риса, тогда как основными вызовами остаются климатические риски, изношенность оросительных систем и ограниченные возможности мелких хозяйств. Таким образом, рисоводство в России является не только важным элементом аграрного производства, но и стратегическим направлением обеспечения национальной продовольственной безопасности, требующим комплексного подхода к развитию.

Ключевые слова: рисоводство, продовольственная безопасность, импортозамещение, селекция и семеноводство, устойчивое земледелие, аграрная политика России.

MODERN RICE CULTIVATION IN RUSSIA AS A STRATEGIC AGRICULTURAL SECTOR OF ENSURING THE COUNTRY'S FOOD SECURITY (REVIEW)

*In the context of global climate change and geopolitical challenges, ensuring Russia's food security has acquired strategic significance. A special place in the structure of the national food balance belongs to rice (*Oryza sativa L.*), which serves as an important source of carbohydrates, proteins, vitamins, and minerals, as well as an indispensable component of therapeutic and dietary nutrition. Unlike other cereal crops, rice is predominantly consumed as grain, which determines its high demand in the domestic market. The aim of this study is to examine the current state and development prospects of rice cultivation in Russia as a key factor in import substitution and food independence. An analysis of the regional structure of production identified the leading rice-growing regions: Krasnodar region, Rostov region, the Republic of Dagestan, and Primorsky region. It was established that the country's gross rice harvest consistently exceeds 1 million tons per year, while the level of self-sufficiency is above 90%. A significant role in the sector's progress is played by plant breeding programs aimed at developing high-yielding varieties resistant to drought, soil salinity, and phytopathogens. Agro-economic and ecological aspects of rice cultivation have been considered, including the high energy intensity of production, dependence on irrigation infrastructure, and the need to implement precision farming technologies and resource-efficient practices. Particular attention is given to state support measures such as subsidies for land reclamation and paddy field construction, funding of scientific research, and the development of domestic seed production. It is emphasized that the future of the sector is closely linked with the introduction of digital technologies, biotechnologies, and the expansion of organic rice production, whereas the main challenges remain climate risks, the deterioration of irrigation systems, and limited opportunities for small-scale producers. Thus, rice cultivation in Russia is not only an important element of agricultural production but also a strategic direction for ensuring national food security, requiring a comprehensive approach to development.*

Key words: rice cultivation, food security, import substitution, plant breeding and seed production, sustainable agriculture, agricultural policy of Russia.

Обеспечение продовольственной безопасности в современных условиях является одной из приоритетных задач государственной политики Российской Федерации. Устойчивое функционирование аграрного сектора напрямую связано с эффективностью использования внутренних ресурсов и снижением зависимости от внешнеэкономических факторов. В условиях глобальных климатических изменений, нестабильной геополитической ситуации, санкционных ограничений и необходимости импортозамещения продовольственная независимость приобретает особое стратегическое значение [3, 25].

Особое место в системе обеспечения продовольственной безопасности занимает рис (*Oryza sativa L.*) – одна из важнейших зерновых культур мирового земледелия. На глобальном уровне он обеспечивает более половины населения планеты основным источником энергии и питательных веществ, что определяет его ключевую роль в поддержании продовольственной стабильности. Для России, где традиционно доминируют пшеница, ячмень и кукуруза, рис не является ведущей зерновой культурой, однако его значение в структуре внутреннего продовольственного баланса постоянно возрастает [20].

Рис отличается высокой пищевой ценностью: он является источником легкоусвояемых углеводов, растительного белка, витаминов группы В, а также микроэлементов, необходимых для нормального функционирования организма. Во-вторых, специфика его потребления в России связана преимущественно с использованием в виде крупы, что обеспечивает стабильный спрос на внутреннем рынке. В-третьих, отечественное рисоводство выступает одним из ключевых направлений реализации политики импортозамещения, так как позволяет существенно сократить зависимость от внешних поставок и укрепить продовольственную независимость страны [8, 27].

Кроме того, рисоводство имеет выраженное региональное значение, концентрируясь в Краснодарском крае, Ростовской области, Республике Дагестан, Астраханской области, и Приморском крае, что обуславливает необходимость учета агроэкологических и социально-экономических особенностей территорий при формировании государственной аграрной политики. Развитие отрасли связано не только с увеличением объемов производства, но и с внедрением инновационных агротехнологий, совершенствованием селекционно-генетических методов, модернизацией ирригационной инфраструктуры и комплексной государственной поддержкой [5].

Таким образом, исследование современного состояния и перспектив развития рисоводства в России представляется актуальным и значимым как в теоретическом, так и в практическом отношении. Оно позволяет оценить роль культуры в обеспечении продовольственной безопасности, выявить

приоритетные направления научно-технологического прогресса и определить основные вызовы, требующие системного решения [14].

Цель исследований

Провести анализ современного состояния и перспектив развития рисоводства в России как стратегического направления обеспечения национальной продовольственной безопасности и реализации политики импортозамещения.

Рис (*Oryza sativa L.*) является одной из ведущих продовольственных культур мирового земледелия, уступая по значимости лишь пшенице и кукурузе, и занимает третье место в структуре потребления зерновых в Российской Федерации после пшеницы и ржи. Его питательная ценность обусловлена высоким содержанием углеводов (до 78 % в пересчёте на сухое вещество), легкоусвояемого белка (6-8 %), витаминов группы В (тиамин, рибофлавин, пиридоксин, ниацин), а также микро- и макроэлементов (калий, фосфор, железо, селен и др.) [26].

Ключевой особенностью риса является его высокая биологическая ценность и гипоаллергенность, что определяет широкое использование данной культуры в профилактическом и специализированном питании. Отсутствие глютена и благоприятное воздействие на функции желудочно-кишечного тракта делают рис незаменимым компонентом в рационе детей, пожилых людей, лиц с хроническими заболеваниями, а также в программах здорового питания [9, 22]. В отличие от большинства зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы), рис преимущественно используется в форме крупы, что придаёт ему особое значение как продукту непосредственного потребления, не требующего глубокой переработки. Пищевая ценность и универсальность использования риса предопределяют его стратегическую роль в формировании рационального и сбалансированного продовольственного рациона населения России.

До середины 2000-х гг. значительная часть риса, потребляемого в Российской Федерации, импортировалась из стран Юго-Восточной Азии (Индия, Таиланд, Вьетнам, Китай), где производство ориентировано преимущественно на массовый экспорт дешёвых сортов белозёрной крупы. Длительная зависимость от внешних поставок обуславливала уязвимость внутреннего рынка к колебаниям цен и внешнеэкономическим ограничениям [6].

В условиях современных геополитических вызовов, усиления санкционного давления особую значимость приобрела политика импортозамещения. В её рамках отечественное рисоводство рассматривается как ключевое направление обеспечения продовольственной независимости. Увеличение внутреннего производства риса позволяет достичь обеспеченности потребностей населения на уровне 90-95 % за счёт отечественного сырья, сократить валютные затраты на закупку продовольствия, стабилизировать

внутренние цены на рисовую крупу и одновременно стимулировать развитие региональных агропромышленных комплексов, включая инфраструктуру хранения, переработки и сбыта продукции [1].

Следовательно, расширение и модернизация производства риса в России выступают не только экономически целесообразным процессом, но и важнейшим элементом реализации стратегических задач, обозначенных в Продовольственной доктрине Российской Федерации. Развитие рисоводства в данном контексте необходимо рассматривать как интегративный процесс, объединяющий агрономические, социально-экономические и geopolитические аспекты, напрямую влияющие на уровень национальной продовольственной безопасности.

В структуре отечественного рисоводства ведущая роль принадлежит Краснодарскому краю, на долю которого приходится до 80 % валового сбора данной культуры. Уникальное сочетание агроэкологических факторов – благоприятный климат, плодородные почвы и развитая мелиоративная система – обеспечивает формирование устойчивых урожаев и позволяет возделывать высокопродуктивные сорта отечественной селекции. Именно здесь сосредоточены основные научно-исследовательские и селекционные центры, в частности ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», разрабатывающий сорта, составляющие основу сортовой структуры страны: по данным последних лет, до 85% посевных площадей в рисосеющих регионах заняты сортами селекции данного учреждения [16].

Значимыми регионами возделывания риса также являются Ростовская область, Республика Дагестан, Астраханская область и Приморский край. В Ростовской области рис выращивается преимущественно в зонах орошаемого земледелия, несмотря на относительно ограниченные площади, здесь внедряются современные агротехнологии, направленные на повышение эффективности водопользования и стабилизацию урожайности. В Республике Дагестан основные площади под культурой сосредоточены в дельтовой зоне реки Терек, где сформировались благоприятные условия для возделывания культуры. Вместе с тем дальнейшее развитие отрасли в регионе требует модернизации ирригационной инфраструктуры, что обусловлено высоким износом гидротехнических сооружений [10]. На Дальнем Востоке (Приморский край) рис культивируется в условиях умеренного климата и укороченного вегетационного периода, что предопределяет использование скороспелых сортов, адаптированных к региональной специфике. В перспективе здесь сохраняется возможность расширения посевных площадей при условии развития мелиоративной системы и совершенствования агротехнологий.

За последние десятилетия производство риса в Российской Федерации достигло стабильно высо-

ких показателей. Валовой сбор культуры превышает 1 млн. т в год, что позволяет не только удовлетворять внутренние потребности населения, но и формировать экспортный потенциал. Согласно данным Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, уровень самообеспеченности рисом превышает 90 %, что является важнейшим критерием продовольственной безопасности страны [2, 17]. Таким образом, внутренняя потребность практически полностью покрывается за счет отечественного производства, что приобретает особую значимость в условиях внешнеполитической нестабильности, санкционных ограничений и сокращения импорта.

Высокий уровень производственных показателей обеспечивается прежде всего за счет урожайности. В ведущих хозяйствах Краснодарского края урожайность риса достигает 8-10 т/га, что сопоставимо с лучшими мировыми образцами. Достижение данных показателей обусловлено комплексом факторов: применением высококачественного семенного материала, оптимизацией системы орошения, совершенствованием агротехники и внедрением инновационных технологий управления водными ресурсами [13].

Селекционно-генетические разработки играют ключевую роль в обеспечении устойчивости и конкурентоспособности отечественного рисоводства. Ведущие научные учреждения страны, прежде всего ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», ведут систематическую работу по созданию новых сортов, обладающих комплексом хозяйствственно ценных признаков. Особое внимание уделяется формированию сортов с высокой урожайностью (до 9-10 т/га), устойчивостью к основным фитопатогенам (пирикуриоз, бактериальный ожог, фузариоз), а также с улучшенными технологическими характеристиками зерна (высокая стекловидность, оптимальное содержание амилозы, низкая доля дробления при переработке).

В последние годы усилилось направление селекции, ориентированное на повышение водоэкономичности сортов, что особенно актуально для южных регионов страны, испытывающих дефицит водных ресурсов. Параллельно расширяется использование молекулярно-генетических методов и маркер-ассистированной селекции, позволяющих ускорять процесс создания и внедрения конкурентоспособных сортов [12, 23]. Результаты этих исследований, а также внедрение инновационных сортов, снижают зависимость отечественного рисоводства от зарубежных разработок, что соответствует стратегическим целям политики импортозамещения и укрепления национальной продовольственной независимости. Все это показывает, что современное состояние отрасли характеризуется устойчивым производственным потенциалом, высоким уровнем сортового разнообразия и поступательным развитием селекционно-генетической базы. Это создает основу для дальнейшего расширения производства и повышения вклада

рисоводства в формирование продовольственной безопасности Российской Федерации.

Высокая энерго- и ресурсоёмкость данных мероприятий определяет рис как одну из наиболее капиталоёмких культур в структуре зернового хозяйства. Однако при рациональном управлении водными ресурсами и внедрении инновационных технологий, таких как лазерное выравнивание почвы, автоматизированные системы полива и интегрированные системы защиты растений, рисоводство демонстрирует высокую рентабельность и стабильную урожайность. Особенно значимые результаты достигаются в Краснодарском крае, где оптимальное сочетание почвенно-климатических условий и инфраструктурных возможностей формирует благоприятную среду для производства.

Ключевыми факторами, определяющими эффективность агротехнологий, выступают соблюдение сроков посева и орошения, фитосанитарный контроль (регуляция численности сорной растительности и возбудителей болезней), корректировка норм высева и глубины заделки семян а также использование высококачественного посевного материала и сбалансированной системы удобрений адаптированной к специфике орошаемого земледелия [15].

Рисоводство обладает выраженным социально-экономическим значением, особенно для южных регионов Российской Федерации. Отрасль обеспечивает создание рабочих мест в аграрных хозяйствах, перерабатывающих предприятиях и обслуживающих организациях; развитие сельской инфраструктуры, включая дороги, логистические и перерабатывающие мощности; формирование налоговой базы и повышение инвестиционной привлекательности регионов.

Экономическое значение рисоводства выходит за рамки непосредственно аграрного производства, формируя многоотраслевой агропромышленный кластер. В его структуру входят предприятия по переработке зерна (рисоочистительные и фасовочные линии), транспортно-логистическая инфраструктура (элеваторы, склады, транспортные компании), специализированное машиностроение (производство сеялок, жаток, плоскорезов), а также химическая и биотехнологическая промышленность (удобрения, пестициды, биопрепараты).

Таким образом, рисоводство обладает мультиплексивным эффектом, способствуя развитию сопряжённых секторов экономики и укреплению продовольственной и экономической безопасности страны.

Несмотря на экономическую значимость, рисоводство сопряжено с рядом экологических рисков, обусловленных спецификой водопользования и применения агрохимикатов [4, 11].

В современных условиях актуализируется внедрение устойчивых и ресурсосберегающих технологий, включающих системы точного земледелия (дис-

танционный мониторинг посевов с использованием спутниковых систем и дронов), биологические методы защиты растений и применение микробиологических препаратов, агроэкологическое районирование и внедрение сортов, адаптированных к конкретным условиям выращивания, а также замкнутые системы рециркуляции оросительной воды. Перспективным направлением выступает интеграция риса в научно обоснованные севообороты с соей, ячменем и зернобобовыми культурами, что способствует улучшению агрофизических свойств почвы, снижению фитосанитарной нагрузки и формированию устойчивых агроэкосистем [18, 21, 28].

Государственная политика в сфере развития отечественного рисоводства направлена на формирование устойчивой производственной базы, модернизацию материально-технической инфраструктуры и стимулирование научно-технологического прогресса. В качестве ключевых механизмов поддержки выступают субсидирование закладки рисовых чеков, реализация федеральных программ мелиорации, а также финансирование фундаментальных и прикладных исследований в области селекции и агротехнологий.

Финансовая помощь аграрным предприятиям, осуществляющим закладку новых рисовых массивов, включает затраты на выравнивание земельных участков, сооружение обваловок и каналов, а также приобретение специализированной техники. Существенное значение имеют меры по восстановлению и развитию гидромелиоративных систем в рамках федеральных проектов «Комплексное развитие сельских территорий» и «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения России». Эти инициативы формируют основу для стабильного функционирования ирригационных комплексов, обеспечивающих водорегулирование и сохранение плодородия почв.

Отдельным направлением является государственная поддержка научных учреждений: ФГБНУ «ФНЦ риса», региональных НИИ и аграрных университетов. Исследования сосредоточены на создании высокопродуктивных сортов, обладающих устойчивостью к абиотическим стрессам (дефицит влаги, засоление, температурные колебания) и биотическим факторам (болезни и вредители), а также на разработке инновационных технологий возделывания. Подобные меры способствуют не только стабилизации производства, но и повышению его эффективности и конкурентоспособности в долгосрочной перспективе.

Включение рисоводства в приоритетные направления государственной аграрной политики подтверждается его присутствием в ряде стратегических документов. Национальный проект «Экспорт продукции АПК» предусматривает комплекс мероприятий, направленных на продвижение отечественного риса на международных рынках. В их числе: развитие

логистической инфраструктуры, сертификация продукции в соответствии с международными стандартами, а также поддержка экспортно-ориентированных производителей. Основной задачей выступает увеличение доли несырьевого аграрного экспорта за счёт реализации конкурентоспособных сортов и технологий отечественного происхождения.

Государственная программа «Развитие сельского хозяйства», продленная до 2030 года включительно, определяет рисоводство в качестве одного из приоритетных направлений растениеводства. Особый акцент делается на мелиорацию, научное сопровождение производственного процесса и внедрение принципов устойчивого землепользования. Важным элементом является и программа «Наука и технологии» в рамках стратегии научно-технологического развития РФ, которая обеспечивает поддержку проектов в области сельскохозяйственной биотехнологии, включая формирование генофонда риса, развитие молекулярной генетики и геномных исследований направленных на повышение урожайности и стрессоустойчивости культуры [7].

Основными направлениями стали развитие оригинального и элитного семеноводства на базе ФГБНУ «ФНЦ риса» и ведущих аграрных вузов страны, совершенствование сертификационных процедур и упрощение регистрации новых сортов в рамках Евразийского экономического союза, а также создание семенных кластеров, обеспечивающих полный цикл воспроизводства – от оригинального до репродукционного материала.

Реализация указанных мер обеспечивает снижение зависимости от зарубежных поставок, повышение качества и адаптивности отечественного посевного материала, укрепление национальной биобезопасности, а также создание базы для производства экспортно-конкурентоспособной продукции.

Дальнейшее развитие отечественного рисоводства во многом определяется степенью и скоростью интеграции инновационных технологий, результатами научных исследований и переходом к экологически ориентированным моделям агропроизводства. К числу наиболее значимых перспективных направлений относится внедрение цифровых технологий, охватывающих использование дронов и спутниковых систем дистанционного зондирования для мониторинга посевов, раннего выявления стрессовых факторов и локализации очагов сорной растительности. Особую роль играют системы точного земледелия, обеспечивающие рационализацию расхода ресурсов: воды, удобрений и средств защиты растений, а также методы анализа больших данных и искусственного интеллекта, позволяющие прогнозировать урожайность, оптимизировать режимы орошения и сроки уборки [19].

Вторым стратегическим направлением выступает развитие биотехнологий и генной инженерии.

Создание сортов риса, обладающих высокой засухо- и солеустойчивостью, устойчивостью к вредителям и болезням, а также улучшенными технологическими качествами зерна, возможно только при интеграции методов молекулярной селекции, маркер-ориентированных технологий и геномного редактирования. Эти подходы формируют основу генетического улучшения культуры и её адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды.

Третьим направлением является производство органического и экологически чистого риса. Мировой рынок демонстрирует устойчивый рост спроса на продукцию с маркировкой «organic» особенно в странах Европейского союза и Восточной Азии. Для России существует потенциал выхода в данный сегмент благодаря относительной экологической чистоте земель в ряде регионов, растущему интересу производителей к сертифицированному земледелию и возможностям экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, технологическая трансформация в сочетании с экологической устойчивостью может выступить ключевым фактором долгосрочного роста отрасли [24].

Несмотря на высокие показатели продуктивности и значительный потенциал развития, отрасль сталкивается с рядом системных и инфраструктурных ограничений. Одним из наиболее серьёзных вызовов являются климатические изменения. Глобальное потепление сопровождается ростом экстремально высоких температур, особенно в южных регионах, что приводит к нарушению водного баланса и усложняет планирование мелиоративных мероприятий.

Существенной проблемой остаётся изношенность ирригационной инфраструктуры. Большая часть оросительных систем, построенных в советский период, в настоящее время характеризуется высокой степенью износа, что вызывает значительные потери воды при транспортировке, неравномерность её распределения по рисовым массивам и рост эксплуатационных затрат на поддержание гидротехнических сооружений.

Отдельное внимание следует уделить финансовой и технологической уязвимости мелких сельхозпроизводителей. Наиболее проблемными оказываются фермерские и семейные хозяйства, которые испытывают трудности в получении кредитных ресурсов, доступе к современным сортам, высокопроизводительной технике и системам орошения. Дополнительным ограничивающим фактором является недостаточный уровень подготовки кадров, а также слабое развитие кооперативных форм хозяйствования и аграрного консалтинга.

Преодоление указанных вызовов требует системного взаимодействия государства, научного сообщества и бизнеса. Приоритетными направлениями выступают модернизация мелиоративной инфраструктуры, развитие системы научного и техноло-

гического сопровождения мелких производителей, расширение механизмов кредитования и аграрного консалтинга. Комплексная реализация данных мер позволит повысить устойчивость отрасли и обеспечить её вклад в формирование национальной продовольственной безопасности.

Выходы

Рисоводство в Российской Федерации – стратегически значимое направление аграрного производства, определяющее уровень национальной продовольственной безопасности. Его значение заключается не только в обеспечении внутреннего спроса на продукцию, но и в формировании устойчивого агропромышленного потенциала, способного противостоять климатическим и экономическим вызовам. Современное развитие отрасли требует комплексного подхода, включающего модернизацию ирригационной инфраструктуры, внедрение ресурсосберегающих и цифровых технологий, совершенствование систем селекции и семеноводства, а также укрепление кадрового и научного потенциала. Научное сопровождение рисоводства играет ключевую роль в создании сортов, обладающих высокой урожайностью и адаптивностью к неблагоприятным условиям среды, что особенно актуально в условиях глобальных климатических изменений. Перспективными направлениями являются интегра-

ция молекулярно-генетических методов в селекционный процесс, разработка биотехнологических подходов к повышению стрессоустойчивости растений, а также внедрение элементов точного земледелия. Важным условием дальнейшего развития выступает эффективная государственная поддержка, включающая программы мелиорации, субсидирование закладки рисовых чеков, финансирование исследований и развитие отечественного семеноводства. Эти меры способствуют не только стабилизации отрасли, но и снижению зависимости от импортных технологий и семенного материала. Таким образом, рисоводство в России следует рассматривать как системообразующий сектор аграрного производства, обеспечивающий продовольственную независимость и обладающий экспортным потенциалом. При условии комплексной модернизации, усиления научного сопровождения и устойчивой государственной поддержки отрасль имеет все предпосылки для дальнейшего роста, повышения конкурентоспособности и укрепления позиций России на мировом агропродовольственном рынке.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2025-574.

Литература

1. Айдинова, А.Т. Обеспечение импортозамещения национальной экономики: инструменты и методы: Коллективная монография / А.Т. Айдинова, С.В. Алибанова, Л.А. Белова [и др.]. – Ставрополь: Фабула, 2015. – 320 с.
2. Белова, И.В. Состояние и тенденции развития отечественного рисоводства / И.В. Белова // Агропродовольственная политика России. – 2013. – № 11. – С. 27-29.
3. Бондарева, С.А. Продовольственная безопасность: учебное пособие / С.А. Бондарева. – Москва: Дело РАНХиГС, 2021. – 90 с.
4. Владимиров, С.А. Проблемы и перспективы развития экологически безопасного рисоводства на Кубани / С.А. Владимиров, А.С. Непра, Д.А. Александров // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 64-2. – С. 108-111.
5. Говердовская, М.Д. Оптимизация землепользования в зонах развития рисоводства на Кубани: дис. ... канд. экон. наук: 5.2.3 / М.А Говердовская. – Москва, 2025. – 214 с.
6. Госпадинова, В.И. Повышение конкурентоспособности российского риса – путь к импортозамещению / В.И. Госпадинова, С.В. Гаркуша, Е.М. Харитонов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 8. – С. 102-104.
7. Гумеров, Р.Р. Государственная программа развития сельского хозяйства: амбиции и реалии / Р.Р. Гумеров // Всероссийский экономический журнал ЭКО. – 2019. – № 4 (538). – С. 8-25.
8. Гумеров, Р.Р. Продовольственная безопасность России: проблемы и угрозы / Р.Р. Гумеров // Всероссийский экономический журнал ЭКО. – 2016. – № 5 (503). – С. 71-88.
9. Зеленский, Г.Л. Рис: от растения до диетического продукта: монография / Г.Л. Зеленский, О.В. Зеленская. – Краснодар: КубГАУ, 2022. – 272 с.
10. Малышева, Н.Н. Анализ и векторы развития отрасли рисоводства / Н.Н. Малышева, С.В. Кизинек, А.Е. Хаджиди, Е.В. Кузнецов // Мелиорация и гидротехника. – 2023. – Т. 13. – № 4. – С. 1-25.
11. Медведев, С.В. Аналитический обзор ресурсосберегающих и природных систем земледелия в рисоводстве Краснодарского края / С.В. Медведев, Е.И. Хатхоху // Научный журнал Эпомен. – 2018. – Вып.13. – С. 120-123.

12. Мягких, Ю.А. Применение молекулярного маркирования для повышения эффективности селекции риса: автореф. дис. ... канд. наук: 06.01.05 / Ю.А. Мягких. – Краснодар, 2009. – 20 с.
13. Парамонов, П.Ф. Агропродовольственный рынок региона: теория и практика: монография / П.Ф. Парамонов, Е.А. Егоров, Е.И. Артемова [и др.]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 429 с.
14. Полутина, Т.Н. Повышение эффективности развития рисоводства в России: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Т. Н. Полутина. – Москва, 2019. – 46 с.
15. Романина, Я.С. Влияние агротехнологий на фитосанитарное состояние посевов и продуктивность сельскохозяйственных культур / Я.С. Романина, А.М. Труфанов, А.Н. Воронин [и др.] // Вестник Краснодарского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3(204). – С. 59-68.
16. Система рисоводства Краснодарского края / Под ред. Е.М. Харитонова. – Краснодар: ВНИИ риса, 2011. – 318 с.
17. Трубилин, А.И. Аграрная экономика России: проблемы и векторы развития: монография / А.И. Трубилин, Д.Б. Эпштейн, Я. Куртисс. – Краснодар: КубГАУ, 2018. – 342 с.
18. Уджуху, А.Ч. Роль рисовых севооборотов в экономике рисосеющих хозяйств / А.Ч. Уджуху, А.З. Сулейменов, К.Н. Дуйсебаев // Рисоводство. – 2007. – № 10. – С. 73-77.
19. Ушачев, И.Г. Приоритетные направления инновационного развития АПК современной России: методологические подходы / И.Г. Ушачев, И.С. Санду, В.И. Нечаев [и др.]. – Москва: Научный консультант, 2017. – 140 с.
20. Шагайда, Н.И. Продовольственная безопасность в России: мониторинг, тенденции и угрозы / Н.И. Шагайда, В.Я. Узун. – Москва: Дело РАНХиГС, 2015. – 110 с.
21. Якушев, В.П. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России / В.П. Якушев, В.В. Якушев, С.Ю. Блохина [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2021. – Т. 91. – № 8. – С. 755-768.
22. Felker, G.B. Southeast Asian industrialisation and the changing global production system / G.B. Felker // Third World Quarterly. – 2003. – V. 24. – № 2. – P. 255-282.
23. Mallareddy, M. Maximizing water use efficiency in rice farming: a comprehensive review of innovative irrigation management technologies / M. Mallareddy, R. Thirumalaikumar, P. Balasubramanian [et al.] // Water. – 2023. – V. 15. – № 10. – P. 1802.
24. Munné-Bosch, S. Fruit quality in organic and conventional farming: advantages and limitations / S. Munné-Bosch, N.F. Bermejo // Trends in Plant Science. – 2024. – V. 29. – № 8. – P. 878-894.
25. Pretty, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence / J. Pretty // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. – 2008. – V. 363. – № 1491. – P. 447-465.
26. Sharma, K. Bioavailability of nutrients and safety measurements / K. Sharma, A. Tayade, J. Singh // Functional Foods and Nutraceuticals: Bioactive Components, Formulations and Innovations. – Cham : Springer International Publishing, 2020. – P. 543-593.
27. Zhao, M. Improving nutritional quality of rice for human health / M. Zhao, Y. Lin, H. Chen // Theoretical and Applied Genetics. – 2020. – V. 133. – № 5. – P. 1397-1413.
28. Zou, Y. Crop rotation and diversification in China: Enhancing sustainable agriculture and resilience / Y. Zou, Z. Liu, Y. Chen [et al.] // Agriculture. – 2024. – V. 14. – № 9. – P. 1465.

References

1. Aidinova, A.T. Ensuring import substitution of the national economy: tools and methods: Collective monograph / A.T. Aidinova, S.V. Alivanova, L.A. Belova [et al.]. - Stavropol: Fabula, 2015. - 320 p.
2. Belova, I.V. State and development trends of domestic rice growing / I.V. Belova // Agro-food policy of Russia. - 2013. – № 11. - P. 27-29.
3. Bondareva, S.A. Food security: a textbook / S.A. Bondareva. - Moscow: Delo RANEPA, 2021. - 90 p.
4. Vladimirov, S.A. Problems and prospects for the development of environmentally friendly rice growing in Kuban / S.A. Vladimirov, A.S. Nepra, D.A. Alexandrov // Trends in the development of science and education. - 2020. – № 64-2. - P. 108-111.
5. Goverdovskaya, M.D. Optimization of land use in the areas of rice growing development in Kuban: Ph.D. thesis: 5.2.3 / M.A. Goverdovskaya. - Moscow, 2025. - 214 p.
6. Gospadinova, V.I. Increasing the competitiveness of Russian rice – the path to import substitution / V.I. Gospadinova, S.V. Garkusha, E.M. Kharitonov [et al.] // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. – 2016. – V. 30. – № 8. – P. 102-104.
7. Gumerov, R.R. State program for agricultural development: ambitions and realities / R.R. Gumerov // All-Russian economic journal ECO. – 2019. – № 4 (538). – P. 8-25.
8. Gumerov, R.R. Food security of Russia: problems and threats / R.R. Gumerov // All-Russian economic journal ECO. - 2016. – № 5 (503). - P. 71-88.

9. Zelensky, G.L. Rice: from a plant to a dietary product: monograph / G.L. Zelensky, O.V. Zelenskaya. - Krasnodar: KubSAU, 2022. - 272 p.
10. Malysheva, N.N. Analysis and vectors of development of the rice growing industry / N.N. Malysheva, S.V. Kizinek, A.E. Khadzhidi, E.V. Kuznetsov // Land reclamation and hydraulic engineering. - 2023. - Vol. 13. - № 4. - P. 1-25.
11. Medvedev, S.V. Analytical review of resource-saving and natural farming systems in rice growing in the Krasnodar region / S.V. Medvedev, E.I. Khatkhokhu // Scientific journal Epomen. - 2018. - Issue 13. - P. 120-123.
12. Myagkikh, Yu.A. Application of molecular marking to increase the efficiency of rice breeding: Abstract of Ph.D. thesis: 06.01.05 / Yu.A. Myagkikh. - Krasnodar, 2009. - 20 p.
13. Paramonov, P.F. Agro-food market of the region: theory and practice: monograph / P.F. Paramonov, E.A. Egorov, E.I. Artemova [et al.]. - Krasnodar: KubSAU, 2016. - 429 p.
14. Polutina, T.N. Improving the efficiency of rice cultivation development in Russia: Abstract of Dr. thesis: 08.00.05 / T. N. Polutina. - Moscow, 2019. - 46 p.
15. Romanina, Ya.S. The influence of agricultural technologies on the phytosanitary condition of crops and the productivity of agricultural crops / Ya.S. Romanina, A.M. Trufanov, A.N. Voronin [et al.] // Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. - 2024. - № 3 (204). - P. 59-68.
16. Rice growing system of Krasnodar region / Under editorship of E.M. Kharitonov. - Krasnodar: All-Russian Rice Research Institute, 2011. - 318 p.
17. Trubilin, A.I. Agrarian economy of Russia: problems and vectors of development: monograph / A.I. Trubilin, D.B. Epstein, J. Curtiss. - Krasnodar: KubSAU, 2018. - 342 p.
18. Udzhuuhu, A.Ch. The role of rice crop rotations in the economy of rice-growing farms / A.Ch. Udzhuuhu, A.Z. Suleimenov, K.N. Duisebaev // Rice growing. - 2007. - № 10. - P. 73-77.
19. Ushachev, I.G. Priority areas of innovative development of the agro-industrial complex of modern Russia: methodological approaches / I.G. Ushachev, I.S. Sandu, V.I. Nechaev [et al.]. - Moscow: Scientific consultant, 2017. - 140 p.
20. Shagaida, N.I. Food security in Russia: monitoring, trends and threats / N.I. Shagaida, V.Ya. Uzun. - Moscow: Delo RANEPA, 2015. - 110 p.
21. Yakushev, V.P. Information support of modern agricultural systems in Russia / V.P. Yakushev, V.V. Yakushev, S.Yu. Blokhina [et al.] // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. - 2021. - V. 91. - № 8. - P. 755-768.
22. Felker, G.B. Southeast Asian industrialisation and the changing global production system / G.B. Felker // Third World Quarterly. - 2003. - V. 24. - № 2. - P. 255-282.
23. Mallareddy, M. Maximizing water use efficiency in rice farming: a comprehensive review of innovative irrigation management technologies / M. Mallareddy, R. Thirumalaikumar, P. Balasubramanian [et al.] // Water. - 2023. - Vol. 15. - № 10. - P. 1802.
24. Munné-Bosch, S. Fruit quality in organic and conventional farming: advantages and limitations / S. Munné-Bosch, N.F. Bermejo // Trends in Plant Science. - 2024. - V. 29. - № 8. - P. 878-894.
25. Pretty, J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence / J. Pretty // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. - 2008. - V. 363. - № 1491. - P. 447-465.
26. Sharma, K. Bioavailability of nutrients and safety measurements / K. Sharma, A. Tayade, J. Singh // Functional Foods and Nutraceuticals: Bioactive Components, Formulations and Innovations. - Cham : Springer International Publishing, 2020. - P. 543-593.
27. Zhao, M. Improving nutritional quality of rice for human health / M. Zhao, Y. Lin, H. Chen // Theoretical and Applied Genetics. - 2020. - V. 133. - № 5. - P. 1397-1413.
28. Zou, Y. Crop rotation and diversification in China: Enhancing sustainable agriculture and resilience / Y. Zou, Z. Liu, Y. Chen [et al.] // Agriculture. - 2024. - V. 14. - № 9. - P. 1465.

Руслан Рамазанович Джамирзе

Старший научный сотрудник отдела селекции
E-mail: arri_kub@mail.ru

Ruslan Ramazanovich Dzhamirze

Senior scientist of breeding department
E-mail: arri_kub@mail.ru

ФГБНУ «ФНЦ риса»

350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3

FSBSI «Federal Scientific Rice Centre»

3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2025-69-4-14-24
 УДК 633.18: 631.526.2 576.7: 57.085.1: 57.017.64:
 631.527.6: 631.524.5

Савенко Е.Г., канд. биол. наук,
 Коротенко Т.Л., канд. с.-х. наук
 г. Краснодар, Россия

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗЦОВ РИСА С РАЗНЫМ ТИПОМ ЗЕРНА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ КЛЕТОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ *IN VITRO* ПО СТАБИЛИЗАЦИИ ИСХОДНЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ФОРМ

Для эффективного использования генетического разнообразия коллекции риса в селекционном процессе и фундаментальных исследованиях необходимо комплексное изучение исходных форм. Современные методы и технологии позволяют проводить ускоренный скрининг генплазмы. В статье приведен обзор поисковых исследований по отзывчивости сортов риса на культуру пыльников *in vitro* и параметры исходных форм риса для отработки технологии получения удвоенных гаплоидов (DH). В эксперимент взято 40 сортов и образцов риса в биоресурсной коллекции «ФНЦ риса» с разным типом зерновки двух подвидов: *japonica* и *indica* Kato. Проведен библиометрический анализ литературы по степени изученности вопроса. Родительская генплазма проанализирована на предмет полиморфизма по биологическим и морфологическим признакам, дифференцирована в группы по типу зерна и скорости созревания (раннеспелые, среднеспелые и среднепозднеспелые). Оценка показателей андрогенеза *in vitro* для выявления перспективных образцов риса с хорошей отзывчивостью показала, что по комплексу признаков «каллусогенез/регенерация» выделено 4 образца, один из которых относится к подвиду *indica*, как генотипы, отзывчивые на культуру пыльников, продукцирующие высоко морфогенные каллусы с потенциалом развиваться в полноценные растения. В статье продемонстрирована важность использования в данной технологии отзывчивых генотипов и различных компонентов среды для оптимизации реакций во время образования каллуса и регенерации. Полученные результаты могут быть полезны для эффективного использования генетической плазмы риса в селекции с ускоренным получением удвоенных гаплоидных форм.

Ключевые слова: рис, подвид, коллекция, тип зерна, технология *in vitro*, усовершенствование методики

GENOTYPIC CHARACTERISTICS OF RICE SAMPLES WITH DIFFERENT GRAIN TYPES TO OPTIMIZE THE USE OF *IN VITRO* CELL TECHNOLOGIES FOR STABILIZATION OF ORIGINAL BREEDING FORMS

For the effective use of genetic diversity of a rice collection in breeding and fundamental research, a comprehensive study of the original forms is necessary. Modern methods and technologies allow for accelerated germplasm screening. This article presents an overview of exploratory studies on the responsiveness of rice varieties to anther culture *in vitro* and the parameters of initial rice forms for developing a technology for producing doubled haploids (DH). The experiment involved 40 rice varieties and accessions from the Bioresource Collection of Federal Scientific Rice Centre, each with different grain type and belonging to two subspecies: *japonica* and *indica* Kato. A bibliometric analysis of the literature was conducted to determine the level of research on this topic. The parental germplasm was analyzed for polymorphism by biological and morphological traits and differentiated into groups based on grain type and maturation rate (early, mid-season, and mid-late). An *in vitro* assessment of androgenesis parameters to identify promising rice accessions with good responsiveness showed that, based on the complex of “callusogenesis/regeneration” traits, 4 accessions, one of which belongs to the *indica* subspecies, were identified as genotypes responsive to anther culture, producing highly morphogenic calli with the potential to develop into full-fledged plants. The article demonstrates the importance of using responsive genotypes and various media components in this technology to optimize responses during callus formation and regeneration. The results may be useful for understanding the effective use of rice germplasm in breeding with the accelerated production of doubled haploid forms.

Key words: rice, subspecies, collection, grain type, *in vitro* technology, improvement of methodology.

Введение

Научные материалы для специалистов и исследователей аграрной отрасли разбросаны в мировом информационном пространстве по множеству платформ и баз данных. В новом информационном обществе получению знаний по направлению сель-

скохозяйственных наук и для определения стратегии исследований на ближайшую перспективу может со-действовать разработанный специалистами ГПНТБ СО РАН (г. Новосибирск) цифровой путеводитель по отраслевым информационным ресурсам: «Навигатор по открытым образовательным ресурсам аграрной

отрасли», содержащий научные материалы (<http://lib-os.ru/issledovatelyam/resursy/obrazovatelnye-resursy/navigator-oor-apk/>) [6].

В информационных базах данных отечественной литературы (РИНЦ и ЦНСХБ) широко освещены результаты оценки применения клеточных технологий в селекционном процессе различных культур. Найдено 571 публикация в РИНЦ за период с 1987 по 2025 год и 751 источник в базе ЦНСХБ, датированных с 1996 по 2022 гг. В зарубежной базе Scopus выявлено по данному направлению исследований 1486 статей. Самые ранние статьи в базе Scopus по рису (*Oryza sativa L.*) с применением технологии *in vitro* для отбора солеустойчивых растений опубликованы в 1986 и 1987 годах по регенерации растений из пыльников и зрелых семян сорта CV. BASMATI-370 [14, 23].

Технология удвоения гаплоидов (DH), или гаплоидная селекция широко используется в мире для создания новых сортов сельскохозяйственных культур. Её применение позволяет ускорить селекционный процесс, т.к. гомозиготные линии можно отбирать уже в гибридах первого поколения (F_1), стабилизировать число хромосом межвидовых гибридов в случае высокой степени их негомологичности. Кроме этого, рецессивные гены проявляются наряду с домinantными, что позволяет сразу выделять генотипы с полезными признаками и переводить их на дигаплоидный уровень.

Илюшко М. В. (2023) в своих публикациях отмечает, что андрогенез - один из ведущих методов *in vitro* при создании исходного материала для селекции сельскохозяйственных культур. Многие селекционеры считают семенное потомство любого удвоенного гаплоида новой линией вне зависимости от того, с какого каллуса линия получена. Однако в полевых условиях линии с одного каллуса часто выглядят одинаково и выбраковываются [1].

Эффективность андрогенеза в культуре пыльников зависит от ряда факторов, таких как условия выращивания доноров, стадия развития микроспор, условия предобработок, состав питательной среды, однако определяющим является влияние генотипа [17, 27, 30]. Генетические ресурсы риса имеют широкое разнообразие, но до сих пор остаются слабо охарактеризованными на предмет их отзывчивости к технологии экспериментальной гаплоидии. Андрогенетические реакции варьируют в зависимости от генотипа не только среди видов, но и внутри них. Sharma (2025), Lazaridou et. al. (2026) в своих исследованиях отмечают, что среди гексаплоидных пшениц озимые формы характеризуются в андрогенезе *in vitro* лучшим ответом, чем яровые [18, 28]. Исследования Agache (1989), Першина (2013), Тимонова (2022) и др. показали, что пшенично-ржаная транслокация 1RS.1BL положительно влияет на регенерацию растений в андрогенезе *in vitro* [3, 7, 8]. В исследованиях Belay Anelay et. al. (2024) показана высокая эффективность регенера-

ции побегов у каллусов местной сафлоры, тогда как у туркменского генотипа сафлоры отмечен низкий регенерационный потенциал и, как следствие, слабая эффективность побегообразования [15]. Ученые из города Odisha (India: ICAR-National Rice Research Institute) показали эффективность метода культуры пыльников в ускорении селекции различных видов сельскохозяйственных культур, включая рис. Однако данный метод широко используется в селекции риса японского подвида, а использование у индийского экотипа ограничено из-за генетических особенностей. Несколько факторов влияют на продуктивность культуры пыльников и ограничивают эффективность андрогенеза: это ранний некроз пыльников, медленная реакция и пролиферация каллуса, а также низкая регенерация зеленых растений и альбинизм [26]. Таким образом, потенциал технологии КП в сортах риса подвида *indica* ещё не раскрыт в полной мере, главным образом из-за его сложного генетического фона [32].

В последние годы внимание исследователей направлено на усовершенствование методических протоколов, что расширяет возможности DH-технологии, позволяя им стать быстрым и точным инструментом достижения гомозиготности исходного селекционного материала [7, 20, 31]. Производство DH является прорывом в ускорении создания новых сортов риса, но в некоторых исследованиях по методике гаметных технологий подчеркнута важность использования различных компонентов среды для оптимизации реакций во время образования каллуса и регенерации [11, 12, 19, 21, 22, 24, 29].

Ранее проведенные исследования по разработке эффективного протокола для оптимизации технологий получения проростков из гибридных зародышей и культуры пыльников риса *in vitro* показали, что комбинация гормонов 2,4-Д (2,0 мг/л) и БАП (0,5 мг/л) в среде Blaydes была более эффективной. Она индуцировала образование каллуса не только у гибридов *japonica/japonica* и *japonica/indica*, но и у гибридов *indica/indica* [4]. С целью генетической стабилизации форм риса с окрашенными зерновками, обладающими повышенной антиоксидантной активностью, методом культуры пыльников *in vitro* инициацию каллуса пыльниковых культур оценивали с использованием 4-х вариантов питательных сред. У изученных генотипов получены каллусные ткани, которые ранжированы на 5 основных морфотипов, и установлена связь морфологии каллусных тканей, их размера и возраста с морфогенетической активностью [5].

Современные методы фенотипирования и экспериментальной гаплоидии нашли применение и при создании новых устойчивых к заболеванию пирикуляриоза (*Pyricularia oryzae Br. et Cav.*) сортов риса, адаптированных для экологически щадящего беспестицидного земледелия с использованием российской и китайской генплазмы. Созданы дигаплоидные линии, сочетающие в себе хозяйственными ценные ха-

рактеристики с длительной устойчивостью к пирикуляриозу [25].

Ученые отмечают, что постоянное применение в селекции традиционных методов может привести к сужению генофонда вида, что сделает сельскохозяйственные культуры уязвимыми к биотическим и абиотическим стрессам и затруднит дальнейший прогресс. Поэтому применение инновационных методов с контролем нежелательных последствий для повышения потенциала культуры риса и ограничений рассматривается как один из эффективных подходов в селекции [9].

Китайскими учеными в 2011 году с помощью ПЦР и секвенирования выявлен набор из 372 SNP, который можно использовать для крупномасштабного генотипирования в молекулярно-селекционных исследованиях риса для подвидовой и географической дифференциации внутри экотипов *indica* и *japonica* [10]. Молекулярные исследования, проведенные на Тайване, показали, что генетическое разнообразие улучшенных сортов риса *indica* в значительной степени сформировано целями селекции для получения зерна высшего качества и имеет низкий полиморфизм. При этом местные сорта подвида *japonica*, сохраненные коренными народами с различным происхождением, обладают разнообразным и уникальным генетическим фоном и представляют ценный ресурс для селекции [13].

Важнейшей задачей в рисоводстве является выбор соответствующей зародышевой плазмы риса в селекционных программах. Поэтому одной из стратегий в селекции риса является использование обильной генетической рекомбинации в результате гибридизации между подвидами *indica* и *japonica* и отбор перспективных линий, основанный на агрономических характеристиках и родословной информации. В биоресурсной коллекции «ФНЦ риса» сохраняется более 7,5 тыс. образцов из 42 стран мира культурных форм риса посевного *Oryza sativa L.* [2]. Такое многообразие форм позволило нам выделить крупнозерные и длиннозерные сорта для отработки клеточных технологий.

Для преодоления генотипической зависимости в гаметных технологиях необходимо использовать в скрещиваниях отзывчивый в андрогенезе *in vitro* селекционный материал, где один из родителей, участвующих в скрещивании, способен индуцировать развитие зеленых регенерантов у гибридов [16, 30].

В связи с этим целесообразно проведение оценки исходных коллекционных образцов и вовлечение в скрещивания наиболее подходящей генплазмы с хорошей отзывчивостью к андрогенезу *in vitro*.

Цель исследований

Провести библиометрический анализ литературных источников на предмет методов генетической стабилизации селекционного материала на основе клеточных технологий *in vitro* и подобрать генплазму биоматериала риса, дифференцированную по типу зерна и группам спелости, с последующей оценкой показателей андрогенеза *in vitro* и выявления перспективных образцов с хорошей отзывчивостью.

Материалы и методы

Библиометрический поиск литературы по поисковой теме в базах РИНЦ, ЦНСХБ и Scopus проводили в 2024-2025 гг. совместно со специалистами ГПНТБ СО РАН (г. Новосибирск).

В качестве опытного материала в биоресурсной коллекции подобрано 40 сортов риса подвидов *indica* и *japonica* *Oryza sativa L.* с периодом вегетации от 105 до 140 дней и разным типом зерна, которые включены в эксперимент для оценки эффективности в андрогенезе и оптимизации методов генетической стабилизации селекционного материала по общепринятой методике *in vitro* (Бутенко Р.Г., 1990). Выращивание родительских форм (доноров биоматериала) проводили в условиях вегетационного опыта в сосудах на оптимальном агрофоне. Фенологические наблюдения и фенотипирование проводили по стандартным методикам и классификатору рода *Oryza* s.L. Форму зерна определяли визуально в баллах и по соотношению длины к ширине (l/b): длинная (более 3,1), удлиненная (2,7-3,0), овальная (от 2,2 до 2,6), округло-овальная (1,7-2,1), округлая (до 1,6). По скорости развития растений сорта риса относят к группам спелости: очень раннеспелый (менее 100 суток), раннеспелый (101-110 суток), среднеспелый (111-120 суток), средне-позднеспелый (121-130 суток), позднеспелый (более 131 суток).

Результаты и обсуждение

Для анализа различий исследуемые генотипы риса распределены не только по подвидовой принадлежности, но и по форме зерна: с овальным зерном – 15 образцов, с удлиненным типом – 10 образцов и с длинным зерном – 15 образцов (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика исходных форм риса доноров биоматериала (*Oryza sativa L. subsp. indica* и *japonica* Kato) для отработки клеточной технологии

Номер образца в каталоге	Наименование сорта/сорт-образца	Страна происхождения	Тип зерна	Подвид
01025	б/н	Россия	овальное, крупное	<i>japonica</i>
04889	Яхонт - стандарт	Россия	овальное, крупное	<i>japonica</i>
04812	Carnise Preose	Италия	овальное, крупное	<i>japonica</i>

Продолжение таблицы 1

05074	л/о 58-270/7	Россия	овальное, крупное	<i>japonica</i>
05132	Fenomen	Италия	овальное, крупное	<i>japonica</i>
93-30	Meric	Турция	овальное, крупное	<i>japonica</i>
03-51	DHAM	Мадагаскар	овальное, крупное	<i>japonica</i>
107-06	AA05644/05 IR 76928	Филиппины	овальное	<i>japonica</i>
169-09	IRCTN SKUAT -27	Вьетнам	округло-овальное	<i>japonica</i>
177-09	96010-TR 1749-5-1-1	Филиппины	овальное	<i>japonica</i>
д.1069	Ио Мутант 414	Россия	овальное	<i>japonica</i>
д.1082	Л-1, Яхонт / Азовский	Россия	овальное	<i>japonica</i>
д.1087	Л-3, Яхонт / Neve	Россия	овальное	<i>japonica</i>
д.1090	Л-2, Каурис / Яхонт	Россия	овальное	<i>japonica</i>
K-5316	R -253	Италия	овальное	<i>japonica</i>
8-17	IR 13 L 337	Филиппины	удлиненное	<i>indica</i>
51-18	TR -4748	Филиппины	удлиненное	<i>indica</i>
53-12	AA 30128/2011 OM CS 2009	Вьетнам	удлиненное	<i>japonica</i>
64-12	AA 30144/2011 IR 72768	Филиппины	удлиненное	<i>indica</i>
6-21	Esmeralda	Филиппины	удлиненное	<i>japonica</i>
180-09	IIRON OM 2502	Вьетнам	удлиненное, крупное	<i>japonica</i>
58-12	AOQNGZHAN	Китай	удлиненное, крупное	<i>japonica</i>
8-21	Kaw-kor 43 (2)	Таиланд	удлиненное, крупное	<i>indica</i>
д.1089	Л-3, Аполлон / Фаворит	Россия	удлиненное, крупное	<i>japonica</i>
д.1091	Л-3, Золота / Ку-раж	Россия	удлиненное, крупное	<i>indica</i>
04489	Австралия - стандарт	Россия	длинное	<i>indica</i>
206-06	AA 31222/05 PR -27843	Филиппины	длинное	<i>indica</i>
159-09	IRSSTN-2A IR 77674-3B	Вьетнам	длинное	<i>indica</i>
161-09	IRSSTN IR 77674-3B-8	Вьетнам	длинное	<i>indica</i>
7-12	IR-77542-201-1-1-1-4	Филиппины	длинное	<i>indica</i>
85-12	AA 30082/2011 IR 28	Филиппины	длинное	<i>indica</i>
1-21	Kaw-kor	Таиланд	длинное	<i>indica</i>
3-21	Kaw-kor 43	Таиланд	длинное	<i>indica</i>

Продолжение таблицы 1

д.1102	Л-3, Марс / Тайбонне	Россия	длинное	<i>indica</i>
К-7630	ВИР 84-1-43-1	Россия	длинное	<i>indica</i>
03-31	АА-611/01 (7484)	Филиппины	длинное, тонкое	<i>indica</i>
03-43	615/01 (7507)	Мадагаскар	длинное, тонкое	<i>indica</i>
156-12	АА30079/2011 IR77674-3В	Филиппины	длинное, тонкое	<i>indica</i>
99-10	Huri 370	Венгрия	длинное, крупное	<i>indica</i>
Д.1074	И.о образец Алексеенко	Россия	длинное, крупное	<i>indica</i>

Исследуемые исходные формы дифференцировали в группы по скорости развития, основная доля сортов отнесена к группам: 37,5 % - средне-позднеспелые и 30 % - позднеспелые формы подвида *indica*, 7,5 % – это раннеспелые формы, а 25 % образцов отнесено к группе среднеспелых. Следует отметить, что вегетационный период в 2025 году у исследуе-

мых сортов удлинился в среднем на 7 суток, и ряд генотипов показали пограничное положение между группами или переместились в более позднюю группу (табл. 2). Генотипическая вариабельность продолжительности периода вегетации растений между сезонами 2024 и 2025 гг. составила 5-18 суток.

Таблица 2. Вариабельность морфобиологических параметров сортов риса, используемых в эксперименте по отработке клеточных технологий (2024, 2025 гг.)

Номер каталога	Период вегетации, дней		Высота растений, см		Устойчивость к полеганию, балл		Тип метелки
	2024	2025	2024	2025	2024	2025	
107-06	93	105	69,0	73,0	3	1	1/3
Д.1074	108	110	138,0	127,0	3	5	5/9
05074	106	110	92,0	100,0	3	3	5/9
01025	110	115	97,0	99,0	1	1	3/5
04889	108	116	77,0	88,0	1	1	3/5
05132	114	120	81,0	79,0	1	1	3/9
03-51	103	112	92,0	99,0	3	1	3/9
169-09	110	120	110,0	115	3	3	7/9
99г-10	95	115	69,0	88,0	5	3	3/9
Д.1069	110	120	104,0	99,0	1	1	5/9
д.1082	109	115	105,0	103,0	1	3	3/5
д.1089	108	113	126,0	118,0	3	5	5/9
д.1091	110	118	118,0	107,0	3	3	3/5
04489	118	123	96,0	101,0	1	3	7/9
04812	112	122	75,0	81,0	1	1	3/9
93-30	115	123	92,0	108,0	1	3	3/9
03-43	122	130	87,0	77,0	1	1	3/9
159-09	123	128	93,0	106,0	1	3	7/9
177-09	125	126	85,0	98,0	1	1	1/3
180-09	117	125	95,0	96,0	1	1	5/9
53-12	112	120	77,0	76,0	1	1	5/9

Продолжение таблицы 2

58-12	112	124	78,0	75,0	1	1	3/9
1-21	123	130	85,0	78,0	1	1	7/9
3-21	122	130	78,0	81,0	1	1	7/9
д.1087	117	122	112,0	102,0	3	3	3/9
д.1090	115	122	109,0	120,0	1	3	3/9
д.1102	120	128	114,0	90,0	3	1	5/9
K-5316	120	125	103,0	100,0	3	3	3/9
03-31	126	133	93,0	88,0	1	1	5/9
206-06	127	133	79,0	74,0	1	1	3/9
161-09	132	140	81,0	90,0	1	1	5/9
7-12	140	149	72,0	65,0	1	1	5/9
64-12	132	140	101,0	93,0	1	1	5/9
85-12	128	135	90,0	88,0	1	1	5/9
156-12	132	140	92,0	93,0	1	1	5/9
8-17	135	142	70,0	62,0	1	1	3/9
51-18	130	137	78,0	70,0	1	1	5/9
6-21	128	133	82,0	87,0	1	1	3/9
8-21	125	133	87,0	90,0	3	1	5/9
K-7630	128	140	113,0	128,0	1	3	3/9
среднее	118	125	92,37	92,8			

Успех применения DH-технологии в селекционных программах зависит от способности генотипов к регенерации зеленых растений в андрогенезе *in vitro*. Для оценки способности к андрогенезу *in vitro* на двух вариантах искусственных питательных сред (базовые среды Blaydes и MS) в трехкратной повторности инокулировано по 900 пыльников 40 российских и интродуцированных сортов риса: 1-й вариант - Blaydes + 30,0 г/л сахарозы + 2,0 мг/л 2,4-Д + 7,0 г/л агара; 2-й вариант - 1/2 MS +30,0 г/л сахарозы + 2 мг/л 6-BAP +0,5 мг/л α-NAA + 6 г/л агара.

Оцениваемые образцы проявляли различную реакцию в андрогенезе *in vitro*, что явилось следствием сортовой и подвидовой специфичности. Андрогенный отклик в настоящее время отмечен у 14 образцов, 13 из которых - представители подвида *japonica* и 1 сорт Huri 370 (№ 99-10), относящийся к подвиду *indica*. Лучшая способность к новообразованиям отмечена у сортов и сортообразцов: № 05132 (Fenomen), 93-30 (Meric), 03-51 (DHAM), 107-06 (AA05644/05 IR 76928), 177-09 (96010-TR 1749-5-1-1), 99-10 (Huri 370) и 04812 (Carnise Preose), у которых параметры андрогенеза на среде 1-го варианта варьировали в

пределах 5,67–30,67 %, 2-го варианта - 5,33–17,78 %. Максимальная реакция зарегистрирована у образцов: № 05132 (Fenomen), 93-30 (Meric), 107-06 (AA05644/05 IR 76928), 177-09 (96010-TR 1749-5-1-1) и 99-10 (Huri 370). Несколько ниже отзывчивость по признаку «каллусообразования» была у крупнозерных образцов № 01025 (б/н) и сорта Яхонт (№ 04889) и длиннозерного сорта Австрал (№ 04489), которые послужили стандартами в нашем эксперименте. Нужно отметить, что для большинства образцов индуцирующим свойством обладали составы обеих сред, однако лучшие результаты получены на среде Blaydes, обогащенной 2,0 мг/л дихлорфеноксикусной кислоты (2,4-Д), кроме сорта Huri 370 (№ 99-10), относящегося к подвиду *indica* (5,67 и 10,44 % соответственно), у которого положительные реакции преобладали при комплексном использовании гормонов 6-бензиламинопурина (6-BAP) и α - нафтилуксусной кислоты (α - NAA) в базовой среде 1/2 MS. Образцы 03-43 615/01 (7507), 169-09 IRCTN SKUAT -27 и 53-12 AA 30128/2011 OM CS 2009 реагировали слабо и только на гормон 2,4-Д в составе среды Blaydes (рис. 1).

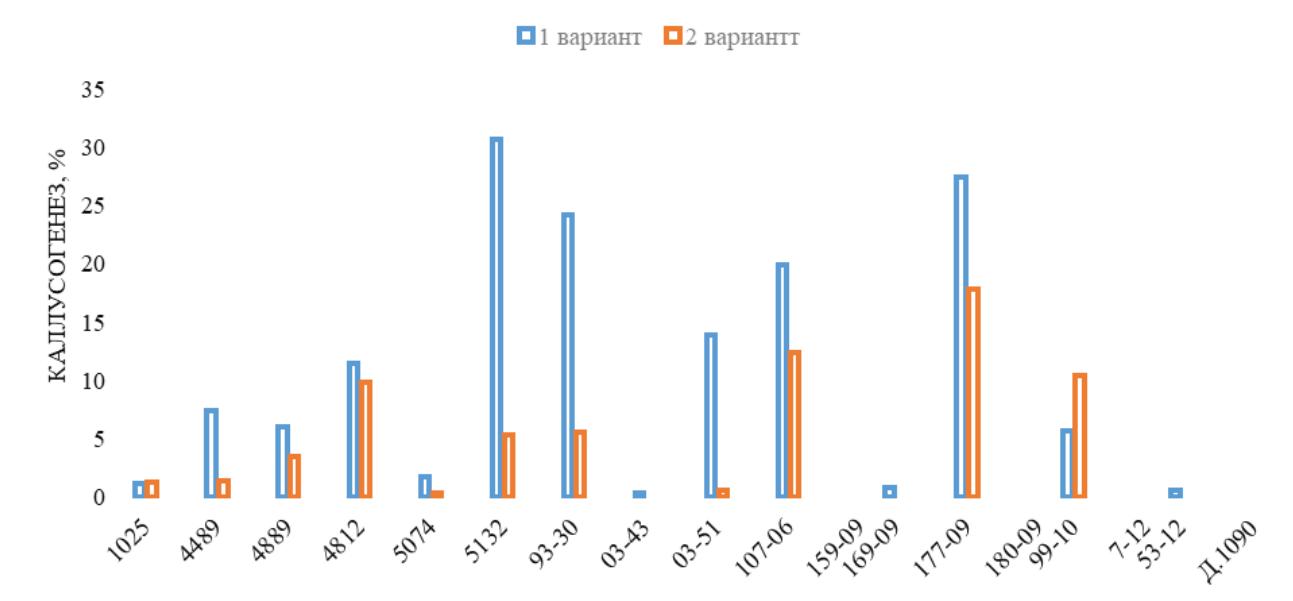


Рисунок 1. Каллусогенез в культуре пыльников российских и интродуцированных сортов риса, %

Для стимуляции морфогенеза каллусы переносили на среду MS + 20,0 г/л сахарозы + 7,0 г/л агара + 1,0 мг/л а-НУК + 5,0 мг/л кинетин. Среди исследуемых генотипов обнаружено, что продукция новообразований еще не гарантирует выход регенерантов. Также у сортов и сортообразцов отмечена различная реакция на состав индуцирующих сред на предмет формирования разных типов каллуса. У ряда генотипов риса, несмотря на хорошую отзывчивость на индуцирую-

щие среды, сформировались новообразования неморфогенного типа и, как следствие, нулевой результат по признаку «регенерация». Высокоморфгенные каллусы, обладающие регенерационным потенциалом, индуцированы на среде 1 варианта у образцов: № 04889, 05074, 05132, 05312; на среде 2 варианта у образца № 93-30; для образцов № 107-06, 177-09 и 99-10 благоприятными в формировании продуктивных каллусов были оба варианта (табл. 1, рис. 2).

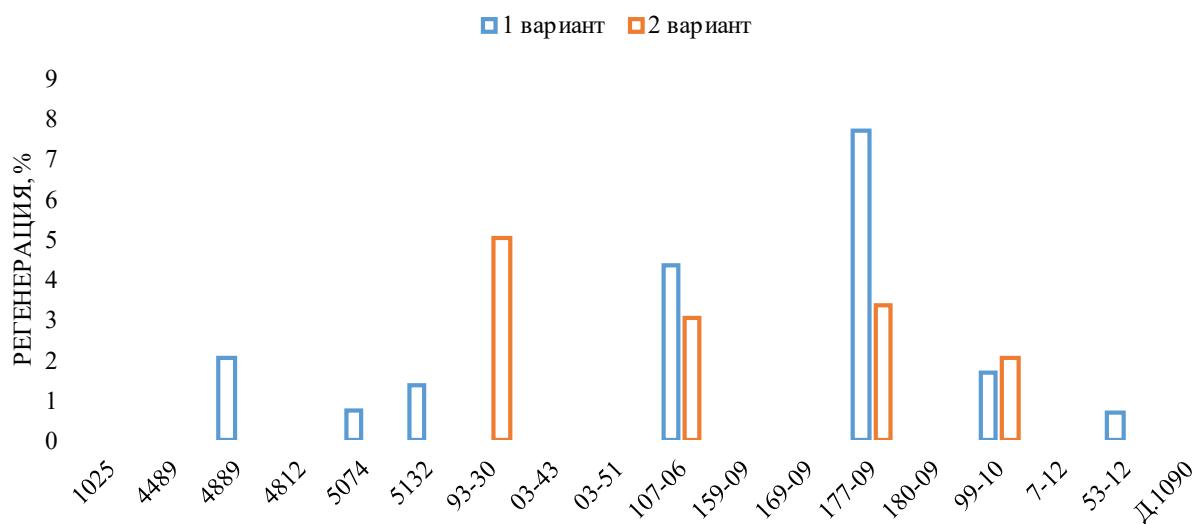


Рисунок 2. Регенерация в культуре пыльников российских и интродуцированных сортов риса, %

По комплексу признаков «каллусогенез/регенерация» выделили образцы № 93-30, 107-06, 177-09, 99-10 как отзывчивые на культуру пыльников *in vitro*.

У этих образцов отмечали формирование каллусов с признаками геммогенеза и/или вторичного эмбриоидогенеза, а так же развитие эмбриоподобных или

полиэмбриоидных структур, обладающих способностью развиваться в полноценные растения.

Выводы

Анализ литературы по исследуемой теме показал, что результаты работ по методу культуры пыльников *in vitro* достаточно широко освещены для различных культур. Однако для каждой культуры и даже генотипа необходимо подбирать оптимальную среду для культивирования. Для отработки современных биотехнологических методов в числе доноров зародышевой плазмы выбрано 13 российских сортов и 17 интродуцированных из 5-ти стран мира. Это длиннозерные и крупнозерные формы, обладающие широким полиморфизмом признаков, различающиеся по морфотипу растений (высота от 69 до 138 см) и по скорости развития (от 93 до 140 суток).

Андрогенный отклик отмечен у 14 генотипов риса, 13 из которых - представители подвида *japonica* и 1 сорт Huri 370 (№ 99-10), относящийся к подвиду

indica. По комплексу признаков «каллусогенез/регенерация» выделено 4 образца, один из которых - длиннозерный представитель подвида *indica*, как генотипы, отзывчивые на культуру пыльников *in vitro*, производящие высокоморфогенные каллусы с потенциалом развиваться в полноценные растения. Для оценки перспективы использования выделенных образцов в дальнейших скрещиваниях они переведены на следующий этап - изучение андрогенетической реакции гибридов, полученных с их участием.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках поисковой темы НИР FGRG-2025-0012: «Оптимизация методов генетической стабилизации селекционного материала на основе клеточных технологий *in vitro* для сокращения продолжительности селекционных схем».

Литература

1. Илюшко, М.В. Влияние интенсивности и качества освещения на регенерационную способность каллуса риса *Oryza sativa* L., полученного в андрогенезе *in vitro* / М. В. Илюшко, М. В. Ромашова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 3. – С. 41-45.
2. Коротенко, Т.Л. Генотипические особенности генплазмы риса разного типа зерна и группы спелости по формированию физико-химических свойств / Т.Л. Коротенко, С.А. Юрченко, П.В. Будунова // Рисоводство. - 2023.- № 4 (61). - С. 6 - 15. DOI: 10.33775/1684-2464-2023-61-4-6-15.
3. Першина, Л.А. Изучение особенностей андрогенеза в культуре пыльников сортов и перспективной формы яровой мягкой пшеницы западносибирской селекции, различающихся наличием или отсутствием пшенично-чужеродной транслокации/ Л.А. Першина, Т.С. Осадчая, Е.Д. Бадаева, И.А. Белан, Л.П. Россеева // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. - 17(1). - С. 40-49.
4. Савенко, Е.Г. Совершенствование методов *in vitro* для ускоренного получения экспериментальных популяций риса *Oryza sativa* L / Е.Г. Савенко, Ж.М. Мухина, В.А. Глазырина, Т.Л. Коротенко, Л.А. Шундрина // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2023. - № 106. - С. 329-336.
5. Савенко, Е.Г. Оптимизация технологии экспериментальной гаплоидии риса применительно к генотипам с окрашенным перикарпом / Е.Г. Савенко, Ж.М. Мухина, Т.Л. Коротенко, В.А. Глазырина, Л.А. Шундрина // Рисоводство. - 2021. - № 2 (51). - С. 12-20
6. Садовская, Л.Л. Открытая наука для аграрной отрасли: навигатор по открытым образовательным ресурсам / Л.Л. Садовская, Т.Л. Коротенко // Профессиональное образование в современном мире. - 2022. - № 12(3). - С. 505-520. <https://doi.org/10.20913/2618-7515-2022-3-13>.
7. Тимонова, Е.М. Изучение влияния чужеродных транслокаций на показатели андрогенеза *in vitro* у линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Е.М. Тимонова, И.Г. Адонина, Е.А. Салина // Труды по прикл. ботанике, генетике и селекции. - 2022. - № 183(1). - С. 127-134. DOI 10.30901/2227-8834-2022-1-127-134.
8. Agache, S. Genetic analysis of another culture response in wheat using aneuploid, chromosome substitution and translocation lines/ S. Agache, B. Bachelier, J.de Buyser, Y. Henry, J. Snape // Theor. Appl. Genet. – 1989. - № 77(1). - Р. 7-11. DOI 10.1007/bf00292308.
9. Bresegheello, F. Traditional and modern plant breeding methods with examples in rice (*Oryza sativa* L.) / F. Bresegheello, A. S. G. Coelho // Journal of agricultural and food chemistry. – 2013. – Vol. 61.- № 35. – Р. 8277-8286.
10. Chen, H. Development and application of a set of breeder-friendly SNP markers for genetic analyses and molecular breeding of rice (*Oryza sativa* L.) / H. Chen, H. He, Y. Zou [et. al.] // Theoretical and Applied Genetics. – 2011. – Vol. 123. – Р. 869–879.
11. Dunwell, J. M. Haploids in flowering plants: origins and exploitation/ J. M. Dunwell//Plant biotechnology journal. – 2010. – Vol. 8. – № 4. – Р. 377-424.
12. Hooghvorst, I. et al. Antimitotic and hormone effects on green double haploid plant production through anther culture of Mediterranean japonica rice/ I. Hooghvorst et al. //Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). – 2018. – Vol. 134. – № 2. – Р. 205-215.
13. Hour, Al. Genetic Diversity of Landraces and Improved Varieties of Rice (*Oryza sativa* L.) in Taiwan / Al.

- Hour, Wh. Hsieh, Sh. Chang [et all.] // Rice. – 2020. – Vol. 13.- № 82. – 12 p.
14. Janardhan, Reddy P. *In vitro* characterization of salt stress effects and the selection of salt tolerant plants in rice (*Oryza sativa* L.) / Reddy P. Janardhan, K.I. Vaidyanath // Theoretical and Applied Genetics TAG. - 1986. - Vol. 71.- № 5. - P. 757-760.
15. Kassa, Belay Anelay Effects of plant hormones and genotypes on anther culture response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.)/ Belay Anelay Kassa, Firew Mekbib, Kebebew Assefa // . Scientific African. – 2024. - Vol. 26. - e02367. DOI: 10.1016/j.sciaf.2024. e 02367.
16. Kondic-Špika, A. Relationships among androgenic components in wheat and their responses to the environment/ Kondic-Špika A., Vukosavljev M., Kobiljski B., Hristov N.// J. Biol. Res. – 2011. - № 16. - P. 217-223.
17. Lantos, C. Factors influencing the efficiency of wheat anther culture/ C. Lantos, J. Pauk // Acta Biol. Crac. Ser. Bot. – 2020. - № 62(2). - P. 7-16. DOI 10.24425/ abcsb.2020.131671.
18. Lazaridou, T. Effect of D genome on wheat anther culture response after cold and mannitol pretreatment / T. Lazaridou, C. Pankou, I. Xynias, D. Roupakias // Acta Biol. Crac. Ser. Bot. – 2016. - № 58(1). - P.95-102. DOI 10.1515/ abcsb-2016-0006.
19. López-Cristoffanini, C. et al. An improved anther culture procedure for obtaining new commercial Mediterranean temperate japonica rice (*Oryza sativa*) genotypes/C. López-Cristoffanini et al. //Plant Biotechnology. – 2018. – V. 35. – № 2. – P. 161-166.
20. Maluszynski, M Doubled Haploid Production in Crop Plants/M. Maluszynski, K.J. Kasha, B.P. Forster, I. Szarejko (Eds.) // Dordrecht: Springer. - 2003. DOI 10.1007/978-94-017-1293-4.
21. Mishra, R. In-vitro androgenesis in rice: advantages, constraints and future prospects/ R. Mishra, G. J. N. Rao //Rice Science. – 2016. – V. 23. – № 2. – P. 57-68.
22. Pauk, J. Rice doubled haploids and breeding/ J. Pauk, M. Jancsó, I. Simon-Kiss //Advances in haploid production in higher plants. – Dordrecht: Springer Netherlands. - 2009. – P. 189-197.
23. Raina, S.K. Plant regeneration from *in vitro* cultures of anthers and mature seeds of rice (*Oryza sativa* L.) CV. Basmati-370 / S.K. Raina, P. Sathish, K.S. Sarma // Plant Cell Reports. - 1987. - V. 6. - № 1. - P. 43-45.
24. Rout, P. Doubled Haploids generated through another culture from an elite long duration rice hybrid, CRHR32: Method optimization and molecular characterization / P. Rout, N. Naik, U. Ngangkham, R. Verma // Plant Biotechnology. – 2016. – V. 33. – № 3. – P. 177-186.
25. Savenko, E.G. Creating doubled rice haploids with pyriculariosis resistant genes / Elena Savenko, Zhanna Mukhina, Valentina Glazyrina, Tatyana Korotenko, and Sergey Garkusha // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 403. – 2019. - 012019. IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/403/1/012019.
26. Samantaray, S. Doubled Haploid Technologies for Rice Improvement: Technical Progress and Prospects / S. Samantaray, B. Dash, S.S. Bhuyan // Advances in Rice Breeding: Stress Tolerance, Climate Resilience, Quality & High Yield. - Odisha, India: ICAR-National Rice Research Institute. - 2021. – P. 328-351.
27. Seguí-Simarro, J.M. Overview of *in vitro* and *in vivo* doubled haploid technologies. In: Seguí-Simarro J.M. (Ed.). Doubled Haploid Technology/ J.M. Seguí-Simarro, N.M. Jacquier, T. Widiez // Methods in Molecular Biology. - 2021b - Vol. 2287. New York: Humana. - P. 3-22. DOI 10.1007/978-10716-1315-3_1.
28. Sharma, S. Influence of winter and spring wheat genetic backgrounds on haploid induction parameters and trait correlations in the wheat×maize system/ S. Sharma, G.S. Sethi, H.K. Chaudhary // Euphytica. – 2005. - № 144 (1-2). - P.199-205. DOI 10.1007/s10681-005-5812-9.
29. Takamori, L.M. Optimization of somatic embryogenesis and *in vitro* plant regeneration of *Urochloa* species using picloram / L. M Takamori, N. Barbosa Machado Neto, A.Ribas, L. G E Vieira// *In vitro* Cellular & Developmental Biology-Plant. – 2015. – V. 51. – № 5. – P. 554-563. ё.
30. Tuveson, S. Large-scale production of wheat and triticale double haploids through the use of a single-anther culture method/ S. Tuveson, A. Ljungberg, N. Johansson, K.E. Karlsson, L.W. Suijs, J.P. Josset // Plant Breed. - 2000. - № 119(6). - P. 455-459. DOI 10.1046/j.1439-0523.2000.00536. x.
31. Wędzony, M. Progress in doubled haploid technology in higher plants/ M. Wędzony, B.P. Forster, I. Żur, E. Golemic, M. Szechyńska-Hebda, E. Dubas, G. Gotębiowska, M. Wędzony // In: Touraev A., Forster B.P., Jain S.M. (Eds.). Advances in Haploid Production in Higher Plants. Dordrecht: Springer. – 2009. - P. 1-33. DOI 10.1007/978-1-4020-8854-4_1.
32. Xa, T. T. Rice breeding for high grain quality through another culture / T. T. Xa, N. T. Lang //Omonrice. – 2011. – Vol. 18. – P. 68-72.

References

1. Ilyushko, M.V. Influence of the intensity and quality of lighting on the regenerative ability of the rice callus *Oryza sativa* L., obtained in androgenesis *in vitro* / M. V. Ilyushko, M. V. Romashova // Russian Agricultural Science. – 2021. – № 3. – P. 41-45.
2. Korotenko, T.L. Genotypic features of rice germplasm of different grain types and maturity groups for the

formation of physicochemical properties / T.L. Korotenko, S.A. Yurchenko, and P.V. Budunova // Rice Growing. - 2023.- № 4 (61). - P. 6 - 15. DOI: 10.33775/1684-2464-2023-61-4-6-15.

3. Pershina, L.A. Study of the features of androgenesis in the anther culture of varieties and a promising form of spring soft wheat of West Siberian breeding, differing in the presence or absence of wheat-alien translocation/ L.A. Pershina, T.S. Osadchaya, E.D. Badaeva, I.A. Belan, L.P. Rosseeva// Vavilovsky Journal of Genetics and Breeding. - 2013. - № 17(1). - P. 40-49.

4. Savenko, E.G. Improvement of *in vitro* methods for accelerated production of experimental populations of rice *Oryza sativa L.* / E.G. Savenko, Zh.M. Mukhina, V.A. Glazyrina, T.L. Korotenko, L.A. Shundrina //Proceedings of the Kuban State Agrarian University. - 2023. - № 106. - P. 329-336.

5. Savenko, E.G. Optimization of the technology of experimental haploidy of rice in relation to genotypes with colored pericarp / E.G. Savenko, Zh.M. Mukhina, T.L. Korotenko, V.A. Glazyrina, L.A. Shundrina //Rice Growing. - 2021. - № 2 (51). - P. 12-20.

6. Sadovskaya, L.L. Open Science for the Agricultural Industry: A Navigator for Open Educational Resources / L.L. Sadovskaya, T.L. Korotenko // Professional Education in the Modern World. - 2022. - № 12(3). -P. 505-520. <https://doi.org/10.20913/2618-7515-2022-3-13>.

7. Timonova, E.M. Study of the effect of alien translocations on androgenesis *in vitro* in lines of common wheat (*Triticum aestivum L.*)/ I.G. Adonina, E.A. Salina // Works on adj. botany, genetics and breeding. - 2022. - № 183(1) - P. 127-134. DOI 10.30901/2227-8834-2022-1-127-134.

8. Agache, S. Genetic analysis of another culture response in wheat using aneuploid, chromosome substitution and translocation lines/ S. Agache, B. Bachelier, J.de Buyser, Y. Henry, J. Snape // Theor. Appl. Genet. - 1989. - № 77(1). - P. 7-11. DOI 10.1007/bf00292308.

9. Breseghello, F. Traditional and modern plant breeding methods with examples in rice (*Oryza sativa L.*) / F. Breseghello, A. S. G. Coelho // Journal of agricultural and food chemistry. - 2013. - V. 61.- № 35. - P. 8277-8286.

10. Chen, H. Development and application of a set of breeder-friendly SNP markers for genetic analyses and molecular breeding of rice (*Oryza sativa L.*) / H. Chen, H. He, Y. Zou [et al.] // Theoretical and Applied Genetics. - 2011. - V. 123. - P. 869-879.

11. Dunwell, J. M. Haploids in flowering plants: origins and exploitation/ J. M. Dunwell//Plant biotechnology journal. - 2010. - V. 8. - № 4. - P. 377-424.

12. Hooghvorst, I. et al. Antimitotic and hormone effects on green double haploid plant production through anther culture of Mediterranean *japonica* rice/ I. Hooghvorst et al. //Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). - 2018. - V. 134. - № 2. - P. 205-215.

13. Hour, Al. Genetic Diversity of Landraces and Improved Varieties of Rice (*Oryza sativa L.*) in Taiwan / Al. Hour, Wh. Hsieh, Sh. Chang [et all.] // Rice. - 2020. - Vol. 13.- № 82. - 12 p.

14. Janardhan, Reddy P. *In vitro* characterization of salt stress effects and the selection of salt tolerant plants in rice (*Oryza sativa L.*) / Reddy P. Janardhan, K.I. Vaidyanath // Theoretical and Applied Genetics TAG. - 1986. - V. 71.- № 5. - P. 757-760.

15. Kassa, Belay Anelay Effects of plant hormones and genotypes on anther culture response of safflower (*Carthamus tinctorius L.*)/ Belay Anelay Kassa, Firew Mekbib, Kebebew Assefa // Scientific African. - 2024. - Vol. 26. - e02367. DOI: 10.1016/j.sciaf.2024. e 02367.

16. Kondic-Špika, A. Relationships among androgenic components in wheat and their responses to the environment/ Kondic-Špika A., Vukosavljev M., Kobiljski B., Hristov N.// J. Biol. Res. - 2011. - № 16. - P. 217-223.

17. Lantos, C. Factors influencing the efficiency of wheat anther culture/ C. Lantos, J. Pauk // Acta Biol. Crac. Ser. Bot. - 2020. - № 62(2). - P. 7-16. DOI 10.24425/ abcsb.2020.131671.

18. Lazaridou, T. Effect of D genome on wheat anther culture response after cold and mannitol pretreatment / T. Lazaridou, C. Pankou, I. Xynias, D. Roupakias // Acta Biol. Crac. Ser. Bot. - 2016. - № 58(1). - P.95-102. DOI 10.1515/ abcsb-2016-0006.

19. López-Cristoffanini, C. et al. An improved anther culture procedure for obtaining new commercial Mediterranean temperate *japonica* rice (*Oryza sativa*) genotypes/C. López-Cristoffanini et al. //Plant Biotechnology. - 2018. - V. 35. - № 2. - P. 161-166

20. Maluszynski, M Doubled Haploid Production in Crop Plants/M. Maluszynski, K.J. Kasha, B.P. Forster, I. Szarejko (Eds.) // Dordrecht: Springer. - 2003. DOI 10.1007/978-94-017-1293-4.

21. Mishra, R. In-vitro androgenesis in rice: advantages, constraints and future prospects/ R. Mishra, G. J. N. Rao // Rice Science. - 2016. - V. 23. - № 2. - P. 57-68

22. Pauk, J. Rice doubled haploids and breeding/ J. Pauk, M. Jancsó, I. Simon-Kiss //Advances in haploid production in higher plants. - Dordrecht: Springer Netherlands. - 2009. - P. 189-197.

23. Raina, S.K. Plant regeneration from *in vitro* cultures of anthers and mature seeds of rice (*Oryza sativa L.*) CV. Basmati-370 / S.K. Raina, P. Sathish, K.S. Sarma // Plant Cell Reports. - 1987. - Vol. 6. - № 1. - P. 43-45.

24. Rout, P. Doubled Haploids generated through another culture from an elite long duration rice hybrid,

- CRHR32: Method optimization and molecular characterization/ P. Rout, N. Naik, U. Ngangkham, R. Verma //Plant Biotechnology. – 2016. – V. 33. – № 3. – P. 177-186.
25. Savenko E.G. Creating doubled rice haploids with pyriculariosis resistant genes / Elena Savenko, Zhanna Mukhina, Valentina Glazyrina, Tatyana Korotenko, and Sergey Garkusha // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 403. – 2019. - 012019. IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/403/1/012019.
26. Samantaray, S. Doubled Haploid Technologies for Rice Improvement: Technical Progress and Prospects / S. Samantaray, B. Dash, S.S. Bhuyan// Advances in Rice Breeding: Stress Tolerance, Climate Resilience, Quality & High Yield. - Odisha, India: ICAR-National Rice Research Institute. - 2021. – P. 328-351.
27. Seguí-Simarro, J.M. Overview of *in vitro* and *in vivo* doubled haploid technologies. In: Seguí-Simarro J.M. (Ed.). Doubled Haploid Technology/ J.M. Seguí-Simarro, N.M. Jacquier, T. Widiez // Methods in Molecular Biology. - 2021b - V. 2287. - New York: Humana. - P. 3-22. DOI 10.1007/978-10716-1315-3_1
28. Sharma, S. Influence of winter and spring wheat genetic backgrounds on haploid induction parameters and trait correlations in the wheat×maize system/ S. Sharma, G.S. Sethi, H.K. Chaudhary // Euphytica – 2005. - № 144(1-2). - P. 199-205. DOI 10.1007/s10681-005-5812-9.
29. Takamori, L.M. Optimization of somatic embryogenesis and *in vitro* plant regeneration of *Urochloa* species using picloram / L. M Takamori, N. Barbosa Machado Neto, A. Ribas, L. G E Vieira// *In vitro* Cellular & Developmental Biology-Plant. – 2015. – V. 51. – № 5. – P. 554-563. ё.
30. Tuvesson, S. Large-scale production of wheat and triticale double haploids through the use of a single-anther culture method/ S. Tuvesson, A. Ljungberg, N. Johansson, K.E. Karlsson, L.W. Suijs, J.P. Josset // Plant Breed. - 2000. - № 119(6). - P. 455-459. DOI 10.1046/j.1439-0523.2000.00536. x.
31. Wędzony, M. Progress in doubled haploid technology in higher plants/ M. Wędzony, B.P. Forster, I. Żur, E. Golemiec, M. Szechyńska-Hebda, E. Dubas, G. Gotębiowska, M. Wędzony // In: Touraev A., Forster B.P., Jain S.M. (Eds.). Advances in Haploid Production in Higher Plants. Dordrecht: Springer. – 2009. - P. 1-33. DOI 10.1007/978-1-4020-8854-4_1.
32. Xa, T. T. Rice breeding for high grain quality through another culture / T. T. Xa, N. T. Lang //Omonrice. – 2011. – V. 18. – P. 68-72.

Елена Георгиевна Савенко

Заведующий лабораторией биотехнологии и молекулярной биологии, ведущий научный сотрудник
E-mail: avena5@rambler.ru

Elena Georgievna Savenko

Head of the Laboratory of Biotechnology and
Molecular Biology, Leading Researcher
E-mail: avena5@rambler.ru

Татьяна Леонидовна Коротенко

Руководитель группы УНУ «Коллекция генетических ресурсов риса, овощных и бахчевых культур»,
ведущий научный сотрудник отдела селекции,
E-mail: Korotenko.tatyana@mail.ru

Tatiana Leonidovna Korotenko

Head of the USU group «Collection of genetic
resources of rice, vegetables and melons» Leading
Researcher of the breeding department,
E-mail: Korotenko.tatyana@mail.ru

Все: ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3

All: FSBSI Federal Scientific Rice Centre
3, Belozerny, Krasnodar, Russia, 350921

DOI 10.33775/1684-2464-2025-69-4-25-30
УДК 631.52: 631.527:631.527.5:631.527.822

Чухирь И.Н., канд. с.-х. наук,
Чухирь Н.П.,
Троян Р. Н.
г. Краснодар, Россия

ВЛИЯНИЕ ДОМИНИРОВАНИЯ ГЕНОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ПРОДУКТИВНОСТЬ, НА УРОЖАЙНОСТЬ ГИБРИДОВ РИСА

За последние годы в рисоводстве, как в России, так и за рубежом увеличивается спрос на сорта, устойчивые к различным стрессорам среды и отличающиеся высокими характеристиками по качеству и урожайности. Селекционеры выводят сорта, отвечающие спросу производства, тем не менее, производство по-прежнему нуждается в создании высокоурожайных сортов, чья продуктивность напрямую зависит от таких важных признаков, как высота растения, кустистость, количество и качество зерен в метелке, размер зерновки. Актуально изучение реакции гибридов риса, закономерностей наследования хозяйственно ценных признаков и их изменчивости в зависимости от агроклиматических условий выращивания. Вновь полученные гибридные популяции представлены растениями, которые превосходят родительские формы по многим признакам. При отборе в селекционных питомниках селекционеры визуально отбирают генотипы, качественно отличающиеся и превосходящие родительские формы. В рамках нашего исследования была поставлена цель выявить характеристики эффекта доминирования признаков, отвечающих за урожайность, у гибридов, полученных путем скрещивания отечественных сортов риса с новыми образцами, поступившими в результате интродукции образцов из различных стран рисосеяния. Для этого была проведена визуальная оценка гибридных комбинаций, полученных в ходе гибридологического анализа в рамках селекционных программ, комбинации, высаженные для репродукции на вегетационной площадке. По результатам оценки было отобрано пять родительских форм и их потомство в первом поколении. Для получения гибридов второго поколения репродукцию высевали и лучшие образцы отбирали в полевых условиях. Биометрический анализ проводился в лабораторных условиях.

Ключевые слова: родительские формы, гибриды, гибридные комбинации, наследование, коэффициент доминирования, признаки.

THE EFFECT OF THE DOMINANCE OF PRODUCTIVITY-DETERMINING GENES ON THE YIELD OF RICE HYBRIDS

Significant changes have been taking place in rice farming both in Russia and abroad in recent years. The demand for varieties resistant to various environmental stressors and characterized by high quality and yield characteristics is increasing. Breeders produce varieties that meet the demand of production, however, production both needed and needs to create high-yielding varieties, whose productivity directly depends on such important characteristics as plant height, bushiness, quantity and quality of grains in a panicle, as well as the size of the grain. In practice, it is also necessary to understand the behavior of rice hybrids, patterns of inheritance of economically valuable traits and their variability. Newly obtained hybrid populations usually form plants that have increased values relative to the parent forms in many ways. When selecting breeding plants, breeders visually select genotypes that are qualitatively different and superior to the parent forms. As part of our study, the goal was to understand how the effect of the dominance of traits responsible for yield is manifested and inherited in hybrids obtained by crossing domestic rice varieties with new samples obtained as a result of the introduction of plants from various rice-growing countries. For this purpose, the combinations obtained during the hybridological analysis, within the framework of breeding programs, planted for reproduction on the vegetation site, were visually analyzed. As a result of the visual assessment, five parental forms and their offspring in the first generation were selected. To obtain second-generation hybrids, the reproduction was sown and selected in the field. Biometric analysis was performed in a laboratory setting.

Key words: parental forms, hybrids, hybrid combinations, inheritance, coefficient of dominance, traits.

Введение

Главная задача селекционеров – выведение сортов, обладающих выдающимися характеристиками, которые важны для сельского хозяйства. Успех в этом деле во многом зависит от обогащения генофонда культуры новым, ценным исходным материалом, который поступает из разных уголков мира [7].

Для достижения максимальной эффективности в выведении новых сортов и гибридов риса, необходимо тесное взаимодействие между различными направлениями исследований. Это означает необходимость не только тщательного изучения генетической и селекционной ценности носителей хозяйствственно ценных признаков, но и активного использования

возможностей биотехнологии. Одновременно с этим следует совершенствовать методы внутривидовой, сложной ступенчатой, включающей несколько этапов скрещивания и отдаленной гибридизации, позволяющие объединить генетический материал разных видов. Все эти методы требуют глубокого понимания генетических барьеров и способов их преодоления и должны опираться на изучение генов, которые контролируют ценные признаки, закономерность их наследования и взаимодействия генотипа с окружающей средой, а также на изучение генетических и физиологико-биохимических основ проявления гетерозиса [9, 12].

В природе всегда существует положительная связь между значениями доминирования и гетерозиса: чем выше степень доминирования, тем выше гетерозисный эффект [1-4]. Поэтому исследователями часто проводится оценка типа наследования признака на основе коэффициента доминирования [9-11].

Формирование гибридных популяций зачастую приводит к появлению растений с высокой степенью гетерозиса, характеризующихся улучшенными показателями относительно родительских форм. В рамках селекционной работы в питомниках осуществляется визуальный отбор генотипов, демонстрирующих превосходство над родительскими формами, что является индикатором проявления гетерозисного эффекта [5, 7]. Обнаружение в гибридной популяции растений, значительно превосходящих родительские формы, свидетельствует о феномене трансгрессии [1, 5]. Для селекционера актуальным является вопрос оценки эффективности проведенного отбора и прогнозирования стабильности проявления признака в последующих поколениях. Известно, что с каждым последующим поколением, независимо от специфики наследуемых признаков, происходит увеличение доли гомозиготных генотипов и одновременное снижение доли гетерозиготных [8, 9].

В растениеводстве на протяжении десятилетий основным способом получения селекционного материала была и остается внутри- и межвидовая гибридизация. Это означает, что родительские растения, участвующие в процессе гибридизации, должны быть тщательно отобраны на основе их комплекса признаков, часть которых в итоге будут присуща новому сорту [6, 7].

Цель исследований

Изучить проявление и наследование коэффициента доминирования признаков, отвечающих за урожайность у полученных гибридов и сравнить их с родительскими формами.

Материалы и методы

Материалом в работе служили родительские формы и гибриды двух поколений. В камерах искусственного климата, где выращивались родительские формы, поддерживался постоянный температурный

режим - 28-30 °C [6, 7]. Изучение и визуальную оценку гибридов проводили на стационарной площадке ФНЦ риса и в полевых условиях в гибридном питомнике старших поколений. Гибридизацию проводили между сортами селекции «ФНЦ риса» и зарубежными сортообразцами, полученными в результате интродукции растений в рамках сотрудничества из Италии и Китая. В период фаз вегетации проводили оценку проявления гетерозисного эффекта по внешним признакам, которые впоследствии были отобраны для биометрического анализа. Гетерозисный эффект проявился по некоторым показателям у 10 гибридных комбинаций, для дальнейшего изучения отобрали 5 комбинаций.

Из каждой гибридной популяции отобрали 50 растений для проведения биометрического анализа. Биометрические показатели анализа гибридов сравнивали с показателями родительских форм по семи параметрам, непосредственно влияющим на продуктивность. В ходе анализа был рассчитан коэффициент доминирования (hp). Анализ растений по данным биометрии показал, что гибриды второго поколения по этим 7-м показателям превосходили не только лучшие родительские формы, но и гибриды первого поколения.

Результаты и обсуждение

В ходе изучения было выявлено, что доминирование проявлялось у гибридов обоих поколений, которые по ряду хозяйственного ценных признаков значительно превосходили родительские формы.

Характер наследования количественных признаков отличается большой специфичностью, и наследование происходит по-разному: от депрессии признака до сверхдоминирования. Высокорослые сорта риса имеют тенденцию к полеганию, что создает ряд проблем не только в уборке риса, но и в получении качественного сырья. Повышенная влажность провоцирует прорастание зерновок прямо на корню, что ухудшает как технологические свойства зерна, так и его пригодность для посева, приводя к неизбежным потерям урожая. В связи с этим работа селекционеров по снижению этого показателя даёт результаты. За последние десятилетия селекционерами ФНЦ риса выведены сорта риса с короткими и крепкими стеблями, которые не только более урожайны, но и устойчивы к полеганию и болезням.

Варьирование коэффициента доминирования (hp) высоты растений у гибридов было от неполного доминирования 0,05 до сверхдоминирования 3,1 (табл. 1).

Таблица 1. Изменчивость коэффициента доминирования у родительских форм и гибридов риса

№ комбинации	Название	Символы	Высота растений, см	hp	длина метелки, см	hp	кущение, шт	hp	Ширина флагового листа, см	hp
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3836	ВНИИР 6910-1	♀	95,7		16,3		3,0		1,69	
	Neve	♂	87,7		16,0		2,5		1,48	
	ВНИИР 6910-1/Neve	F ₁	97,2	1,37	16,7	5	2,8	0,33	1,97	3,8
	ВНИИР 6910-1/Neve	F ₂	99,7	1,98	15,4	8	2,9	0,33	1,0	-5
3837	Яхонт	♀	100,3		17,9		2,9		1,29	
	Neve	♂	88,0		17,0		2,8		0,92	
	Яхонт/Neve	F ₁	105,6	1,8	16,6	2,3	3,2	7	1,2	-0,52
	Яхонт/Neve	F ₂	105,9	1,9	16,4	2,8	3,4	11	1,0	-0,52
3853	Регул	♀	94,9		14,4		2,4		1,0	
	Liaoxing 21	♂	80,6		15,2		3,5		2,0	
	Регул/Liaoxing 21	F ₁	98,9	1,6	17,1	5,8	3,9	1,7	2,0	1
	Регул/Liaoxing 21	F ₂	100,4	1,8	19,7	12,3	3,8	1,6	1,05	-0,9
3854	Лидер	♀	90,3		15,2		2,0		1,0	
	Liaoxing 21	♂	70,4		14,8		2,1		1,4	
	Лидер/Liaoxing 21	F ₁	80,5	0,05	15,5	2,5	3,0	19	1,6	2
	Лидер/Liaoxing 21	F ₂	86,7	0,6	15,5	2,5	3,7	33	1,5	1,5
3900	Престиж	♀	95,6		16,1		3,0		1,1	
	Longgeng 39	♂	80,6		11,8		2,0		0,9	
	Престиж /Longgeng 39	F ₁	91,5	1,2	17,2	0,7	3,0	1	1,0	10
	Престиж /Longgeng 39	F ₂	102,0	3,1	18,5	1	3,6	22	1,0	10

Из таблицы 1 видно, что образцы иностранной селекции имеют меньшую высоту растений (Liaoxing 21-70.4см; Longgeng 39-80.6см; Neve-88см), чем сорта селекции ФНЦ риса (Яхонт- 100.3см; Престиж-95см и т.д.). Изменчивость этого признака у гибридов второго поколения была выше, чем у первого и изменялась от 0,6 в комбинации Лидер/Liaoxing 21 до 3,1 – Престиж /Longgeng 39.

По признаку «длина метелки» комбинация Регул/Liaoxing 21 имела самый высокий коэффициент доминирования – 12,3. Признак «длина метелки» имеет больший диапазон вариации (от 0,7 до 12,3), чем высота растения, и он был также выше у гибридов второго поколения.

Рис в отличие от других зерновых имеет высокую способность к формированию продуктивных

стеблей. Второе поколение гибридов по этому признаку, изменялось от 0,33 до 22 (Престиж /Longgeng 39), а у первого поколения диапазон коэффициента был от 0,33 до 19.

Ширина флагового листа у гибридов обоих поколений менялась от отрицательного до полного доминирования.

В процессе изучения гибридные комбинации, полученные путем скрещивания сортов Центра с интродукционными образцами, показали сверхдоминирование по главным признакам, отвечающим за урожайность: это количество зерен в основной метелке, масса зерна в основной метелке и масса зерна на растении, как в первом, так и во втором поколениях (табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что коэффициент домини-

рования по признаку «количество зерен с метелки» у гибридов первого поколения изменялся от 1,2 до 4,8 (ВНИИР 6910-1/Neve, Регул/Liaoxing 21), а у второго поколения у тех же комбинаций его вариабельность была от 4,2 до 18,5.

По признаку «масса зерна с главной метелки» самыми высокими показателями коэффициента доминирования над родительскими формами были в комбинации Лидер/Liaoxing 21 как в первом, так и во втором поколении.

Признак «масса зерна с растения» изменялся в обоих поколениях и имел диапазон от 3 до 19,6. Сверхдоминирование в основном проявлялось у гибридных комбинаций второго поколения. Среди изучаемых комбинаций по этому признаку выделился гибрид Яхонт/Neve.

Таблица 2. Варьирование коэффициента доминирования по признакам, отвечающим за урожайность

№ комбинации	Название	Символы	количество зерен с метелки, шт	hp	масса зерна с главной метелки, г	hp	масса зерна с растения, г	hp
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3836	ВНИИР 6910-1	♀	62,5		1,9		3,6	
	Neve	♂	87,1		1,8		4,1	
	ВНИИР 6910-1/Neve	F ₁	89,5	1,2	2,2	7,0	4,6	3,0
	ВНИИР 6910-1/Neve	F ₂	126,8	4,2	4,9	6,1	8,6	19,0
3837	Яхонт	♀	83,2		2,0		3,6	
	Neve	♂	92,0		1,8		3,9	
	Яхонт/Neve	F ₁	100,8	3,0	2,7	8	5,9	14,3
	Яхонт/Neve	F ₂	125,5	8,6	3,8	1,9	6,7	19,6
3853	Регул	♀	77,9		1,9		4,1	
	Liaoxing 21	♂	70,9		1,7		3,9	
	Регул/Liaoxing 21	F ₁	91,3	4,8	2,1	0,3	5,9	19
	Регул/Liaoxing 21	F ₂	139,2	18,5	4,1	2,3	11,2	7
3854	Лидер	♀	79,2		2,0		4,0	
	Liaoxing 21	♂	105,5		2,1		4,1	
	Лидер/Liaoxing 21	F ₁	121,8	2,2	3,5	29	7,5	3,8
	Лидер/Liaoxing 21	F ₂	116,5	1,83	3,8	35	8,9	7,5
3900	Престиж	♀	80,5		1,7		3,5	
	Longgeng 39	♂	86,3		1,9		3,1	
3900	Престиж /Longgeng 39	F ₁	88,0	1,5	2,1	0,3	4,0	3,5
	Престиж /Longgeng 39	F ₂	112,4	10,0	3,9	1,1	6,8	17,5

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показывают, что у изучаемых гибридных комбинаций как в F_1 , так и в F_2 , доминирование проявлялось по большинству признаков в сравнении с родительскими формами. Сверхдоминирование проявлялось в основном во втором поколении. Гибридные комбинации 3836 и 3853 показали высокое доминирование по признаку «длина метелки»; наивысший коэффициент доминирования по

кущению был отмечен у комбинаций 3837 и 3854. По признаку «масса зерна с растения» лучшие показатели зафиксированы у комбинаций 3837, 3853 и 3900. По признаку «масса зерна с метелки» наиболее успешной оказалась комбинация 3854. Эти комбинации можно рекомендовать селекционерам для отбора растений начиная со второго поколения.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2025-574.

Литература

1. Гончаров, С.В. Зерновые культуры: селекция на гетерозис/С.В. Гончаров, К.В. Костов //Труды КубГАУ.- 2018. - № 72. - С. 89-92.
2. Кондратьева, И.В. Генетика количественных признаков: методическое пособие / Новосибирский государственный аграрный университет // И.В. Кондратьева, Р.А. Цильке, М.Л. Kochneva. – Новосибирск, 2016. – 30 с.
3. Коновалова, И.В. Проявление эффекта гетерозиса по основным элементам продуктивности у внутривидовых гибридов яровой мягкой пшеницы / И.В. Коновалова, П.М. Богдан, А.Г. Клыков // Дальневосточный аграрный вестник. - 2017. - № 3. - С. 50-55.
4. Дзюба, В.А. Генетика риса / В.А. Дзюба.- Краснодар: Изд-во КГАУ. 2004. - 285 с.
5. Жученко, А.А. Адаптивная система селекции растений в 2 т. // А.А. Жученко. – Москва. Издательство РУДН. 2001. - Т. 1. -780 с; Т. 2. - 785 с.
6. Чухирь, И.Н. Количественные признаки риса, контролирующие урожайность и их наследование / И.Н.Чухирь, Л.В. Есаулова, Н.П. Чухирь // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2019. - № 151. - С. 15-23.
7. Чухирь, И.Н. Признаки продуктивности и их наследование в гибридах риса/ И.Н.Чухирь, Л.В. Есаулова, Н.П. Чухирь //Рисоводство.- Краснодар, 2019.- № 2.- С.12-15.
8. Чухирь, И.Н. К методике проведения гибридизации риса/ И.Н. Чухирь, Н.П. Чухирь // Материалы Международной научно-практической конференции «Научные приоритеты адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства». – Краснодар, 2019. - С. 77-80.
9. Шаптуренко, М.Н. Гетерозис: современные тенденции в изучении молекулярных механизмов / М.Н. Шаптуренко, Л.В. Хотылева // Вавиловский журнал генетики и селекции. -2016.- № 20(5). - С. 683-694.
10. Singh, S. K. Perspective of hybrid wheat research: a review / S. K. Singh, R. Chatrath, B. Mishra // Indian Journal of Agric. Sciences. - 2010. – V. 80. - P. 1013-1027.
11. Mühleisen, J. Hybrid breeding in barley / J. Mühleisen, H. O. Maurer, G. Stiewe // Crop Science. - 2012. – V. 53. - № 3. - P. 819-824.
12. Eliot, F. Plant breeding and cytogenetics / F. Eliot// New York, 1961. – P. 389-447.

References

1. Goncharov, S.V. Grain crops: breeding for heterosis / S.V. Goncharov, K.V. Kostov // Proceedings of KubGAU.-2018.-№ 72.- P. 89-92.
2. Kondratieva, I.V. Genetics of quantitative traits: a method manual / Novosibirsk State Agrarian University. un-T. // I.V. Kondratieva, R.A. Tsilke, M.L. Kochneva. – Novosibirsk, 2016. – 30 p.
3. Konovalova, I.V. Manifestation of the effect of heterosis on the main elements of productivity in intraspecific hybrids of spring soft wheat // I.V. Konovalova, P.M. Bogdan, A.G. Klykov.-Far Eastern Agrarian Bulletin. – 2017. – № 3. - P. 50-55.
4. Dzyuba, V.A. Genetics of rice //V.A. Dzyuba. - Krasnodar: Publishing house of KGAU. - 2004. -285 p.
5. Zhuchenko, A.A. Adaptive plant breeding system: in 2 volumes // A.A. Zhuchenko. – Moscow. RUDN Publishing House. - 2001. - V. 1. - 780 p.
6. Chukhir, I.N. Quantitative characteristics of rice that control yield and their inheritance / I.N.Chukhir, L.V. Esaulova, N.P. Chukhir //A political network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. - 2019. - № 151. - P. 15-23.
7. Chukhir, I.N. Signs of productivity and their inheritance in rice hybrids/ I.N.Chukhir, L.V. Esaulova, N.P.Chukhir // Rice farming.- Krasnodar, 2019. - №. 2. - P. 12-15
8. Chukhir, I.N. On the methodology of rice hybridization / I.N.Chukhir, N.P. Chukhir.- Materials of the International scientific and practical Conference “Scientific priorities of adaptive intensification of agricultural

- production". – Krasnodar, 2019. - P. 77-80.
9. Shapurenko, M.N. Heterosis: modern trends in the study of molecular mechanisms/ M.N. Shapurenko, L.V. Khotyleva // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. - 2016. - № 20(5). - P. 683-694.
10. Singh, S. K. Perspective of hybrid wheat research: a review / S. K. Singh, R. Chatrath, B. Mishra // Indian Journal of Agric. Sciences. - 2010. - V. 80. - P. 1013-1027.
11. Mühliesen, J. Hybrid breeding in barley / J. Mühliesen, H. O. Maurer, G. Stiewe // Crop Science. - 2012. - V. 53. - № 3. - P. 819-824.
12. Eliot, F. Plant breeding and cytogenetics / F. Eliot// New York, 1961. – P. 389-447.

Ирина Николаевна Чухирь

Ведущий научный сотрудник, руководитель группы исходного материала отдела селекции
E- mail: irina-chukhir@mail.ru

Irina N. Chukhir

Leading researcher, group of the source material of the breeding department
E- mail: irina-chukhir@mail.ru

Николай Петрович Чухирь

Младший научный сотрудник группы исходного материала
E- mail: Chukhir.nic@mail.ru
Все: ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3

Nicolay P. Chukhir

Junior researcher, group of the source material of the breeding department
E- mail: Chukhir.nic@mail.ru
All: FSBSI «Federal Scientific Center of Rice»
3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

Руслан Николаевич Троян

Ассистент кафедры прикладной экологии, КубГАУ
E-mail: 1998troyan@gmail.com

Ruslan Nicolaevich Troyan

Assistant of the Department of Applied Ecology, KubSAU
E-mail: 1998troyan@gmail.com

ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ имени И. Т. Трубилина
350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13

FSBEI HE Kuban SAU named after I.T. Trubilin
13, Kalinina st., Krasnodar, 350044, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2025-69-4-31-40
УДК 635.646

Королёва С. В., канд. с.-х. наук,
Шумилова Е. В.,
Полякова Н. В., канд. с.-х. наук,
Пистун О. Г.
г. Краснодар, Россия

СОЗДАНИЕ ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА БАКЛАЖАНА (*SOLANUM MELONGENA*) ДЛЯ ГЕТЕРОЗИСНОЙ СЕЛЕКЦИИ

Баклажан (*Solanum melongena*) – овощная культура семейства Пасленовых, спрос на которую с каждым годом увеличивается со стороны потребителей свежего и переработанного продукта, овощеводов-любителей и товарных производителей. В Государственном реестре селекционных достижений представлено большое разнообразие сортов и гибридов как отечественной, так и зарубежной селекции для открытого и защищенного грунта. При этом сорта для овощеводов любителей имеют различную форму и окраску плодов. Однако для выращивания в товарном овощеводстве необходимы высокородажные гибриды с высокими товарными качествами плодов, устойчивые к высоким летним температурам на юге России и толерантные или устойчивые к наиболее распространенным заболеваниям. Создание гетерозисных гибридов баклажана позволяет повысить скороспелость, урожайность и улучшить качество плодов. Гибриды отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам. Использование в селекционном процессе последних достижений селекции и создание на их основе линий с высокой комбинационной способностью по наиболее значимым хозяйственным признакам позволит расширить сортимент для товарного овощеводства. Таким образом, цель исследования – создание и оценка исходного материала для получения гетерозисных гибридов с заданными признаками. Для реализации поставленной цели в 2022 году начато изучение коллекционного материала баклажана: 3-х образцов испанской селекции, 1-го французской, 2-х российской и 1-го немецкой. В результате анализа по комплексу ценных признаков и критериям продуктивности было отобрано 13 линий, которые были включены в селекционную схему. В 2024 году было проведено испытание десяти гибридных комбинаций в открытом грунте (в качестве стандарта использовали сорт Фрегат) на селекционном участке отдела овощеводства ФГБНУ «ФНЦ риса». В результате испытаний выделилась комбинация № 10 (138 x 130-2), которая по показателям «ранняя» и «общая» урожайность имела существенное превышение относительно стандарта (высокородажный сорт Фрегат) на 117,5 % (17,04 т/га) и 50,4 % (72,71 т/га) соответственно.

Ключевые слова: баклажан, исходный материал, селекция, гибрид, ранняя и общая урожайность.

DEVELOPMENT OF EGGPLANT (*SOLANUM MELONGENA*) SOURCE MATERIAL FOR HETEROZISIC BREEDING

Eggplant (Solanum melongena) is a vegetable crop of the Solanaceae family, the demand for which is increasing every year from consumers of fresh and processed products, amateur vegetable growers and commodity producers. The State Register of Breeding Achievements presents a wide variety of varieties and hybrids, of both domestic and foreign breeding, for open and protected ground. At the same time, varieties for amateur vegetable growers have different shapes and colors of fruits. However, for commercial vegetable cultivation, high-yielding hybrids with high commercial qualities of fruits are needed, resistant to high summer temperatures in the south Russia, tolerant or resistant to the most common diseases. The development of heterotic eggplant hybrids makes it possible to increase the early maturity, yield and improve the quality of fruits. Hybrids are characterized by increased resistance to adverse biotic and abiotic factors. The use of the latest breeding achievements in the breeding process and development of lines based on them with high combinational ability according to the most significant economically valuable traits will expand the assortment for commercial vegetable growing. Thus, the purpose of the study is to develop and evaluate the source material for obtaining heterotic hybrids with specified characteristics. To achieve this goal, in 2022, the study of the eggplant collection material began: 3 samples of Spanish breeding, 1 from France, 2 from Russia and 1 from Germany. As a result of the analysis of a set of valuable traits and productivity criteria, 13 lines were selected, which were included in the breeding scheme. In 2024, 10 hybrid combinations were tested in the open ground (the variety Fregat served as the standard) at the breeding site of the vegetable growing department of the Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific Rice Centre». As a result of the tests, combination № 10 (138 x 130-2) stood out, which, in terms of «early» and «total» yields, had a significant excess relative to the standard (high-yielding variety Fregat) by 117,5 % (17,04 t/ha) and 50,4 % (72,71 t/ha), respectively.

Key words: eggplant, source material, breeding, hybrid, early and total yield.

Введение

Баклажан (*Solanum melongena* или паслен темноплодный) – многолетнее травянистое растение семейства Пасленовых, родиной которого являются страны субтропической Азии (Индия и др.). Культурный баклажан в зонах тропического, субтропического и умеренного климата возделывается как однолетняя культура. Повсеместное распространение, расширение ареала выращивания как в открытом, так и в защищенном грунте, обусловлено питательной и экономической ценностью паслена темноплодного [3, 10, 25].

Химический состав баклажана разнообразен: в литературных источниках имеются данные о полезности и питательности свежего, консервированного, вареного баклажана, которые содержат минералы (калий, натрий, фосфор, кальций, магний), витамины (C, PP, B₆, B₂, B₁, A, E); из основных веществ обращает на себя внимание содержание пищевых волокон (от 2,5 до 3 г/100 г, в зависимости от степени переработки). Имеются многочисленные сведения о лечебных свойствах баклажана и использовании его в практике народной медицины ряда стран, подтверждением этого является большое количество кулинарных рецептов [6, 20, 21]. Однако, среди прочих органических соединений растения семейства Пасленовых накапливают гликоалкалоид соланин (в баклажане – соланидин-М). При превышении допустимой нормы потребления плодов, содержащих это вещество, возможны симптомы отравления. Благодаря современной селекции уровень токсичного вещества снижен до приемлемых пределов: 2,5–10 мг/100 г или полного его отсутствия [11, 24].

Ценный химический состав свежего и переработанного баклажана обусловил расширение сфер его использования. Так, баклажан используют для приготовления икры, консервных закусок, в кулинарной промышленности, потребления в свежем виде. Разнообразие формы, окраски и размера плодов привело к созданию декоративного направления [12, 19, 23].

Появление и развитие различных направлений возделывания баклажана обусловлено не только питательной ценностью овоща, но и экономической привлекательностью с точки зрения товарного продукта и семеноводства.

На сегодняшний день в России баклажан является нишевой культурой, большая часть которой выращивается в открытом грунте в южных регионах страны. По данным Росстата: общая площадь, занятая под баклажан, составляет 2-3 тысячи гектаров (из них открытый грунт – 1,5-2,5 тысячи гектаров, защищенный – 150-200 га; доля от мировой площади составляет 0,1-0,15 %), однако площади возделывания имеют тенденцию к росту из года в год [13]. Основные регионы выращивания: Астраханская, Волгоградская, Ростовская области, Краснодарский

край, Республика Крым, Кавказские республики [7].

При таком небольшом объеме выращивания и сезонности продукта (поступление на рынок с июля по октябрь) некоторая часть потребности покрывается за счет импорта из ведущих стран производителей: Китай (70-75 % от общего объема импорта), Азербайджан (10-15 %), Узбекистан (5-10 %), Иран (около 5 %) [17, 18]. Общий объем импорта за 2023 год составил 25 000 тонн (1/3 потребности в товарном продукте) [15].

В Государственном реестре селекционных достижений зарегистрировано более 250 сортов и гибридов баклажана, причем 60 % - российской селекции, однако по объему продаж и масштабам использования в промышленном овощеводстве лидируют иностранные гибриды (около 90 %) [16]. Так, ведущими поставщиками профессиональных семян баклажана являются Нидерланды (60-70 %), Франция (10-15 %), Япония (5-10 %), Турция (около 5 %) и др. [15].

В последнее десятилетие селекционерами создан большой сортимент баклажана, представленный сортами и гибридами для открытого и защищенного грунта, для выращивания овощеводами любителями и в товарном овощеводстве. При этом сорта для овощеводов любителей отличаются разнообразием формы и окраски плодов. Для выращивания в промышленном овощеводстве предпочтение отдают высокоурожайным гибридам, которые обладают жаростойкостью и устойчивостью к наиболее распространенным заболеваниям (особенно в южных регионах России), с высокими товарными качествами плодов [2]. Как правило, крупные хозяйства предпочитают выращивать иностранные гибриды, которые, возможно, в большей степени соответствуют их требованиям.

Создание гетерозисных гибридов баклажана позволяет повысить скороспелость, урожайность и улучшить качество плодов. Гибриды отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам [1, 22]. Использование в селекционном процессе современных достижений селекции и создание на их основе линий с высокой комбинационной способностью по наиболее значимым хозяйственным признакам позволит расширить сортимент для товарного овощеводства.

Цель исследований

Создать и оценить исходный материал для получения гетерозисных гибридов с заданными характеристиками и признаками:

- продолжительность вегетационного периода 95-110 дней;
- плод цилиндрической или удлиненно-грушевидной формы, интенсивно-фиолетового или черного цвета, с глянцем; масса плода 200-300 г; мякоть плода белая, без пустот, с маленькой семенной камерой;

- высокая транспортабельность, лежкость 2-3 недели без потери качества плода;
- урожайность 60-80 т/га;
- товарность более 90 %;
- устойчивость к вирусу табачной мазанки, фузариозному и вертициллезному увяданию, паутинному клещу, колорадскому жуку;
- жаростойкость.

Материалы и методы

Изучение коллекционного материала баклажана начало в 2022 году на базе отдела овощеводства (ФГБНУ «ФНЦ риса»). Коллекция включала 4 гибрида и 3 сорта различного эколого-географического происхождения. Исследуемый материал оценивали по комплексу признаков с использованием стандартных методов оценки в весенне пленочной теплице с проведением индивидуального отбора и созданием родоначальников линий (инцукт-линий) с 2023 (поколение F_2) по 2025 (поколение F_4) годы [8].

Посев исходного материала в 2022-2025 годах проводили 22-26 февраля в кассеты № 64 с предварительным замачиванием семян в 1 %-м растворе перманганата калия. Рассаду выращивалась в условиях камеры искусственного климата при соответствующих культуре температурных условиях [9]. В период роста рассады полив осуществляли 1, 2 раза в день, еженедельно проводились подкормки препаратором «Террафлекс» из расчета 30-50 г препарата на 10 л воды с повышением концентрации по мере увеличения вегетативной массы растений. Перед высадкой в теплицу вели обработку препаратором «Актара» из расчета 3 г препарата на 10 л воды. Перед посадкой рассады в теплицу (15-22 апреля) вносили удобрение: нитроаммофоска – 7 кг, аммиачная селитра – 3 кг на 250 м². По мере роста и развития осуществляли листовые подкормки растений препараторами «Полидон NPK», «Террафлекс», «Гумат К», «Агробор»; нивелирование стрессовых абиотических факторов проводили с помощью обработки препараторами «Альбит» и «Циркон». Защита растений от вредителей включала применение препараторов «Фитоверм», «Фитоспорин», «Матрин Био». В течение вегетации отмечали фенологические фазы развития по общепринятым методикам [8].

Полученные линии включали в схемы гибридизации и скрещивали по методике «Получение гибридных семян баклажана» (1985), при этом было важно учитывать ряд факторов: цветки на главном стебле дают малосяянные плоды, поэтому скрещивания вели на цветках ветвей первого и второго порядков; получение гибридных семян осуществляли с предварительной кастрацией цветков, которую проводили за сутки до раскрытия бутона (фаза «рыхлого» бутона); опыление возможно как свежесобранный пыльцой (считается, что опыление и оплодотворение происходит хуже), так и заготовленной заранее (подсушеннной при температуре 25-30 °C); лучшее время для опыления на юге России – 6-9 часов утра [4].

При достижении плодами технической спелости определяли форму и окраску плода, окраску мякоти, наличие шипов на плодоножке и чашечке, наличие горечи; измеряли массу плодов. В фазу биологической спелости проводили сбор плодов для выделения семян, предварительно снятые плоды оставляли на дозаривание до ощутимого размягчения основания плода (приблизительно, две недели). Семена выделяли под проточной водой, с отделением щуплых, далее просушивали.

В 2024 году провели испытание десяти гибридных комбинаций в открытом грунте (в качестве стандарта использовали сорт Фрегат) на селекционном участке отдела овощеводства ФГБНУ «ФНЦ риса». Подготовку семян к посеву проводили по указанной выше методике, посев семян в кассеты № 64 провели 23 марта. До всходов высеванный материал находился в условиях камеры искусственного климата, после чего перенесли в рассадную обогреваемую теплицу. Уход и наблюдения соответствовали приведенному выше описанию. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный. Перед посадкой в открытый грунт были внесены нитроаммофоска и аммиачная селитра из расчета 300 кг и 100 кг на 1 га соответственно. Высадка в поле проведена 15 мая по схеме: (35-40+50)/90, по десять растений на делянке в двукратной повторности. Погодные условия за период вегетации культуры представлены в таблице 1 [14].

Таблица 1. Данные о климатических условиях в открытом грунте с мая по август, 2024 год

Месяц	Температура воздуха, °C				Осадки, мм	Отклонение от средних многолетних, %
	максимальная	минимальная	средняя	отклонение от средней многолетней		
Май	27,4	-	16,1	-1,8	67	103
Июнь	36,0	13,0	24,7	+2,5	49	62
Июль	39,6	16,3	28,2	+3,3	18	27
Август	36,8	15,5	25,7	+1,0	13	31

Сложившиеся условия 2024 года можно охарактеризовать как удовлетворительные для роста и развития культуры. Однако, некоторые стрессовые факторы: высокие дневные температуры в июне (превышение на +2,5 °С относительно средней многолетней), рекордно высокие (превышение на +3,3 °С относительно средней многолетней) дневные температуры в июле; также недостаток увлажнения с июня по август - могли оказаться неблагоприятное воздействие в период завязывания и образования плодов. Нивелирование стрессовых температур проводили через полив с помощью системы капельного орошения. За время вегетации осуществляли ручные прополки, листовые подкормки (препаратами «Полидон НРК», «Гумат К», «Лигоплекс С», «Циркон»), обработку растений от вредителей (препараты «Фитоверм», «Матрин Био»). По мере роста и развития растений отмечали фенологические фазы (все селекционные образцы характеризовались как раннеспелые с продолжительностью вегетационного периода 90-110 дней). При достижении плодами технической спелости проводили описание плодов по признакам: фор-

ма плода, окраска плода, окраска мякоти, наличие шипов, наличие горечи; рассчитывали среднюю массу плодов, раннюю и общую урожайность. Наличие горечи в плодах оценивали органолептическим методом: из средней части плода вырезали цилиндр мякоти диаметром 2-3 см без кожуры; вырезанный образец разделяли на кубики 1,5x1,5x1,5 см; продукт дегустировался в сыром виде разжевыванием кубика в течение 5-7 секунд; наличие горечи отмечали знаком «+», отсутствие – знаком «-», незначительную горечь – «-/+». Учет урожая проводили в динамике по мере достижения плодами технической спелости: с каждой делянки плоды собирали, взвешивали с последующим перерасчетом в килограммы с 1 м². Математическую обработку данных проводили по методике 5. [5].

Результаты и обсуждение

Изучение коллекционного материала баклажана было начато в 2022 (продолжено в 2023) году, оценку проводили в весенней пленочной теплице. Коллекция включала 3 образца испанской селекции, 1 – французской, 2 – российской и 1 – германской. (табл. 2)

Таблица 2. Характеристика коллекционных образцов баклажана в условиях весенней пленочной теплицы для селекции, 2022, 2023 гг.

№	Название образца	Страна происхождения	Масса плода, г	Окраска и форма плода	Окраска мякоти плода
Сорта и гибриды F ₁					
1	Фабина F ₁	Clause (Франция)	300-350	темно-фиолетовый, цилиндрическая	беловато-зеленоватая
2	НА 09206 F ₁	Semillas Fito (Испания)	270-400	темно-фиолетовый, удлиненно-грушевидная	желтовато-белая
3	SF 4107 F ₁	Semillas Fito (Испания)	300-370	черный, удлиненно-грушевидная	желтовато-белая
4	Berenjena Long Purple	Semillas Fito (Испания)	200-280	зелено-фиолетовый, цилиндрическая	зеленовато-белая
5	Алексеевский	Россия	100-190	темно-фиолетовый, цилиндрическая	белая
6	Алмазный	Россия	200-230	фиолетовый, цилиндрическая	белая
7	Aubergine F ₁	Германия	100-120	черный, округлая	зеленовато-белая

Оценку проводили в фазу технической спелости плодов при массовом их созревании. На каждом образце оставляли семенные плоды для последующего поколения и создания родоначальных чистых линий, в том числе и по сортовым образцам. Из таблицы 2 видно, что коллекционные образцы различались по массе плода: от 100-120 г до 270-400 г, по окраске: от темно-фиолетовой (черной) до сиренево-фиоле-

товой (в поколении F₁). Важным признаком является окраска мякоти плода; два образца имели белую окраску мякоти, остальные – белую с желтым или зеленоватым оттенком.

На основании проведенного анализа был отобран исходный материал и получены линии, характеристика которых представлена в таблице 3.

Таблица 3. Характеристика исходного материала и линий баклажана в условиях весенней пленочной теплицы, в среднем за 2023-2025 гг.

Исходный материал	Номера линий, 2025 г.	Средняя масса плода, г	Форма плода*	Окраска плода	Окраска мякоти	Наличие горечи в плодах, +/-*	Шипы, +/-	Номера линий, 2023 г.
Алексеевский	A145-1	134-154	2	1	1	-	+	137
	A146-1	100-145	6	1	1	-	+	138
Berenjena Long Purple (F_2)	№147	220	5	1	3	+	+	139
HA 09206 (F_2)	140-2	210-250	5	2	2	-	-	133-3
	141-1	280-300	5	2	3	-	-	134-3
	134-2	240	2	2	2	-	+	129-3
	132-2	200	6	2	2	-	-	128-4
SF4107 (F_2)	135-1	230	5	2	2	-	-	130-1
	136-3	250	5	2	2	-	-	130-2
	137-3	240	5	2	2	-	+	130-4
	139-1	400	5	2	2	-	-	9-6
Фабина (F_2)	143-2	204	6	2	2	-	-	136-4
	144-2	200	5	2	2	-	+	136-6
Aubergine (F_2)	153-1	80-105	1	2	2	-/+	-	-
Алмазный	150-1	150	7	2	1	-	-	-
Фрегат	148-1	140	6	2	3	+	-	-

*Примечание - форма плода: 1 - шаровидная, 2 - яйцевидная, 3 - грушевидная, 4 - укорочено-грушевидная, 5 - удлиненно-грушевидная, 6 - цилиндрическая, 7 - серповидная; окраска плода: 1 - светло-фиолетовая, 2 - темно-фиолетовая, 3 - сиреневая с полосами; окраска мякоти: 1 - белая, 2 - желтовато-белая, 3 - зеленовато-белая, 4 - светло-зеленая; наличие горечи в плодах: «+» - присутствует, «-» - отсутствует, «-/+» - незначительная горечь; наличие шипов на плодоножке и чашечке: «+» - присутствует, «-» - отсутствует

В 2023 году в популяциях F_2 получили разнообразие растений по форме, окраске плодов. Например, гибрид HA 09206 F_1 имел плоды удлиненно-грушевидной

видной формы, в популяции F_2 было зафиксировано расщепление по форме: от округлой до удлиненно-грушевидной (рис. 1-3).



Рисунок 1. Гибрид HA 09206 F_1 с плодами удлиненно-грушевидной формы



Рисунок 2. Образец НА 09206 F₂ с плодами удлиненно-грушевидной формы



Рисунок 3. Образец НА 09206 F₂ с плодами округлой формы

Проведен отбор плодов с наиболее продуктивных растений, скрещивание отдельных растений с сортовыми образцами с целью изучения продуктивного потенциала и дано их описание.

В 2025 году в селекционный процесс было включено 12 линий 4-5-го поколений и 4 образца (табл. 2). Следует отметить, что все 13 линий, полученные на основе зарубежного материала, при оценке в пленочной теплице имели более крупные плоды с массой не менее 200 г по сравнению с линиями, полученными из сортов Алексеевский, Фрегат и Алмазный. С другой стороны, линии, полученные из отечественного материала, являются источниками генов по таким признакам, как белая мякоть плода (№ 145, 146, 151), жаростойкость, высокая продуктивность (№ 148). Некоторые линии выделились как источники генов «бесшипности»: № 140-2, 141-1, 132-2, 143-2, 153-1, 150-1 – признак, упрощающий технологические операции, связанные со сбором урожая, подвязкой и т.д. Практически все образцы не имели горечи в плодах, кроме линий № 147, 153-1, 148-1, однако этот критерий отчасти зависит от проводимой агротехники.

В 2025 году работа с данными образцами была продолжена. Получен линейный материал. Также получены гибридные комбинации для испытания в 2026 году в пленочной теплице и открытом грунте – 27 пар.

В 2024 году было проведено предварительное

испытание полученных популяций с целью изучения продуктивного потенциала растений. Данные представлены в таблице 4.

У взятого за стандарт высокоурожайного сорта Фрегат в условиях 2024 года ранняя урожайность составила 6,14 т/га, общая – 48,34 т/га. Наименьшие показатели по общей урожайности отмечали у образцов под номерами 1, 3, 4, 6, 8, несмотря на превышающий стандарт показатель ранней урожайности у образцов под номерами 1, 3 и 4. Эти же образцы были отмечены как источники признака «крупноплодность»: № 1 (максимальная масса плода 261 г), № 3 (286 г), № 4 (324 г). Самый низкий показатель по ранней (5,29 т/га) и общей урожайности имел образец под номером 8 (комбинация 127-6 х 130-4): 24,93 т/га, что на 48,4 % меньше стандарта. На уровне стандарта по критерию общей урожайности отметили образцы под номерами 2, 5, 7: 45,88-50,96 т/га. Однако максимальная масса плода указанных номеров составила: № 2 – 415 г, № 5 – 381 г, № 7 – 218 г, – что, вероятно, связано с условиями выращивания в отдельные периоды вегетации культуры. Существенное превышение показателей, как по ранней, так и по общей, урожайности относительно стандарта отмечалось у образца под номером 10 (гибридная комбинация 138 x 130-2) за счет высокой средней массы плода и количества плодов на расте-

нии. Так, ранняя урожайность составила 17,04 т/га (превышение составило 10,9 т/га, или 117,5 %), общая урожайность – 72,71 т/га (что на 50,41 % больше стандарта). Максимальная масса плода приведенной гибридной комбинации составила 300 г.

В таблице 5 представлена характеристика плода гибридных комбинаций, полученных в поле в 2024 году.

Таблица 4. Результаты испытания гибридов в поле, 2024 год

№	Гибридная комбинация	Масса плода, г	Ранняя урожайность, т/га	Общая урожайность, т/га	Прибавка к стандарту, %
1	139x130-1	162	6,95	35,31	-26,9
2	128-1x 130-1	188	13,41	45,88	-5,1
3	137-2x 128-1	195	17,36	42,68	-11,7
4	138 x 130-5	183	12,43	33,16	-31,4
5	131-2 x 137-2	203	15,94	47,79	-1,14
6	130-4 x 121 -3	161	3,45	34,25	-29,2
7	137 x 127-4	179	10,23	50,96	5,42
8	127-6 x 130-4	164	5,29	24,93	-48,4
9	130-1 x 137-2	205	7,31	44,18	-8,6
10	138 x 130-2	202	17,04	72,71	50,41
Ст.	Фрегат	150	6,14	48,34	
	HCP ₀₅		0,98	3,96	

Таблица 5. Характеристика плода гибридов, полученных в поле, 2024 год

№	Гибрид	Окраска мякоти	Форма плода	Окраска плода	Наличие горечи*	Наличие шипов на плодоножке и чашечке
1	139 x 130-1	желто-белая	цилиндрическая	темно-фиолетовая с коричневым	+	+
2	128-1x 130-1	желто-белая	удлиненно-грушевидная	темно-фиолетовая	-	-
3	137-2 x 128-1	зеленовато-белая	цилиндрическая	темно-фиолетовая	-	-
4	138 x 130-5	зеленовато-белая	цилиндрическая	темно-фиолетовая	+	-
5	131-2 x 137-2	желто-белая	цилиндрическая	темно-фиолетовая	-	-
6	130-4 x 121 -3	желто-белая	удлиненно-грушевидная	темно-фиолетовая	-	-
7	137 x 127-4	желто-белая	цилиндрическая удлиненно-грушевидная	темно-фиолетовая	-/+	-
8	127-6 x 130-4	желто-белая	удлиненно-грушевидная	темно-фиолетовая	-	+

Продолжение таблицы 5

9	130-1 x 137-2	зеленовато-белая	цилиндрическая	темно-фиолетовая с коричневым	-	-
10	138 x 130-2	зеленовато-белая	цилиндрическая	темно-фиолетовая с коричневым	-	-
Ст.	Фрегат	зеленовато-белая	цилиндрическая	темно-фиолетовая с коричневым	+	-

Примечание - наличие горечи в плодах: «+» - присутствует, «-» - отсутствует, «-/+» - незначительная горечь; наличие шипов на плодоножке и чашечке: «+» - присутствует, «-» - отсутствует

В сложившихся условиях потомство от полученных скрещиваний имело в основном белую окраску мякоти с оттенками желтого и зеленого. По признаку «форма плода» наблюдали две вариации: цилиндрическая и удлиненно-грушевидная. Все плоды гибридов имели темно-фиолетовую окраску, в некоторых комбинациях был отмечен коричневый оттенок (139 x 130-1, 130-1 x 137-2, 138 x 130-2). Особый интерес представляют характеристики плода гибрида, который получен от комбинации 138 x 130-2, выделившейся по ранней и общей урожайности: окраска мякоти, форма и окраска плода идентичны стандарту (сорт Фрегат), однако мякоть плода перспективной комбинации отличается отсутствием горечи.

Выводы

Было изучено семь образцов баклажана отечественной и зарубежной селекции в условиях весенней пленочной теплицы. При оценке по комплексу

хозяйственно ценных признаков из исходного материала в 2022, 2023 гг. выделено 13 линий, которые были включены в схемы скрещиваний. В результате полевых испытаний в 2024 году выделилась комбинация № 10 (138 x 130-2), которая по показателям «ранняя» и «общая» урожайность существенно превышала стандарт (высокоурожайный сорт Фрегат) на 117,5 % и 50,4 % соответственно.

Для повышения результативности гетерозисной селекции необходимо привлечь в коллекцию материал более широкого ареала происхождения, что будет сделано в 2026 году при выполнении селекционных задач, поставленных в рамках деятельности НЦМУ.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, грант № 075-15-2025-574.

Литература

- Гераськина, Н. В. Гетерозисная селекция баклажан / Н. В. Гераськина // Картофель и овощи. – 2015. – № 12. – С. 35.
- Гераськина, Н. В. Селекция баклажана для юга России / Н. В. Гераськина // Картофель и овощи. – 2016. – № 17. – С. 33-34.
- Гулин, А. В., Кигашпаева, О. П., Мачулкина, В. А. Биоэнергетическая оценка производства семян баклажан / А. В. Гулин, О. П. Кигашпаева, В. А. Мачулкина // Аграрный вестник Урала. – 2023. – № 04 (233). – С. 70-78.
- Дикий, С. П. Получение гибридных семян баклажана (методическое указание) / С. П. Дикий, Л. И. Студенцова, М. В. Воронина, под ред. Г. В. Бооса. – Ленинград: ВАСХНИЛ ВИР, 1985. – 8 с.
- Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). – 5 изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
- Елисеева, Т. Баклажан (лат. *Solanum melongena*) / Т. Елисеева, А. Ямпольский // Journal.edapplus.info. – 2019. – № 3 (9). – С. 33-43.
- Кигашпаева, О.П. Результаты и перспективы Астраханской селекции овощных и бахчевых культур / О.П. Кигашпаева, А.В. Гулин, Р.Х. Капанова, С.А. Володина С.А. // Овощи России. – 2021. – № 5. – С. 16-21.
- Литвинов, С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве. – М.: ВНИИО, 2011. – 648 с.
- Лудилов, В. А. Томаты, перцы, баклажаны: рекомендации (Библиотечка овощевода) / В. А. Лудилов, В. А. Фомин – Ростов-на-Дону: Ростиздат, 1981. – 56 с.
- Мамедов, М. И. Баклажан (*Solanum* ssp.) / М. И. Мамедов, О. Н. Пышная, Е. А. Джос и др. – М.: ВНИИССОН, 2015. – 264 с.
- Мачулкина, В. А. Экологическая безопасность баклажан в зависимости от возраста и размера плодов / В. А. Мачулкина, Т. А. Санникова, М. Ю. Пучков, Н. И. Антипенко // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2015. – № 3. – С. 39-44.

12. Огнев, В. В. Исходный материал и перспективы селекции баклажана на юге России / В. В. Огнев, Н. В. Гераськина // Картофель и овощи. – 2020. – №1. – С. 35-40.
13. Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций: официальный сайт. – URL: <https://www.fao.org/statistics/ru> (дата обращения 20.09.2025)
14. Справочно-информационный портал: погода и климат: сайт. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения 20.09.2025)
15. ФГБУ «Госсорткомиссия»: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://gossortf.ru> (дата обращения 20.09.2025)
16. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. – Москва. – URL: <http://ssl.rosstat.gov.ru> (дата обращения 20.09.2025)
17. Федеральная таможенная служба: официальный сайт. – URL: <https://customs.gov.ru> (дата обращения 20.09.2025)
18. International trade centre: официальный сайт. URL: <https://www.trademap.org/Index.aspx> (дата обращения 20.09.2025)
19. Daunay, M. C. Eggplant / M. C. Daunay, J. Prohens, F. Nuez // Handbook of plant breeding. – 2008. – № 2. – Р. 163-220
20. Fraikue, F. B. Unveiling the potential utility of eggplant: a review / F. B. Fraikue // Conference proceedings of INCEDI. – 29th-31st August, 2016 (Accra, Ghana)
21. Jing, P. Effect of glycosylatoin patterns of Chinese eggplant anthocyanins and other derivatives on antioxidant effectiveness in human colon of cell lines / P. Jing, B. Qian, S. Zhao, X. Qi, L. Ye, G. M. Monica, X. Wang // Food Chemistry. – 2015. – Р. 183-189
22. Kumar, A. Heterosis breeding in eggplant (*Solanum melongena* L.): gains and provocations / A. Kumar, V. Sharma, B. T. Jain, P. Kaushik // Plants. – 2020. – № 9(3). – Р. 403 (2-16).
23. Osei, M. K. Characterization of African eggplant for morphological characteristics / M. K. Osei, B. Banful, C. K. Osei, M. O. Oluoch // Journal of Agricultural Science and Technology. – 2010. – № 4 (3). – Р. 33-37.
24. Richard, J. J. Solanine: A discussion in brinjal by biochemical way / J. J. Richard, Y. A. Vasline, P. Anandan, T. K. Nivetha, R. Surya, P. Ambika // The pharma innovation journal. – 2022. – № 11 (10). – Р. 1849-1850.
25. Sharma, M. Biochemical composition of eggplant fruits: a review / M. Sharma, P. Kaushik // Applied Sciences. – 2021. – № 11 (15). – Р. 7078 (1-13)

References

1. Geraskina, N.V. Heterotic eggplant breeding / N.V. Geraskina // Potatoes and vegetables. – 2015. – № 12. – Р. 35.
2. Geraskina, N.V. Eggplant breeding for the south of Russia / N.V. Geraskina // Potatoes and vegetables. – 2016. – № 17. – Р. 33-34.
3. Gulin, A.V. Bioenergetic assessment of eggplant seed production / A.V. Gulin, O.P. Kigashpaeva, V.A. Machulkina // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2023. – № 04 (233). – Р. 70-78.
4. Dikiy, S.P. Obtaining hybrid eggplant seeds (a methodological note)/ S.P. Dikiy, L.I. Studentsova, M.V. Voronina, edited by G.V. Boos. Leningrad: VASHNIL VIR, 1985. – 8 p.
5. Dospekhov, B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). – 5th ed., revised and enlarged – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p.
6. Eliseeva, T. Eggplant (Latin *Solanum melongena*) / T. Eliseeva, A. Yampolsky // Journal. edaplus. info. – 2019. – № 3. – Vol. 9 – Р. 33-43.
7. Kigashpaeva, O.P. Results and prospects of Astrakhan breeding of vegetable and melon crops / O.P. Kigashpaeva, A.V. Gulin, R.H. Kapanova, S.A. Volodina S.A. // Vegetables of Russia. – 2021. – № 5. – Р. 16-21.
8. Litvinov, S.S. Methodology of field experient in vegetable growing. Moscow: VNIIO, 2011. – 648 p.
9. Ludilov, V.A. Tomatoes, peppers, eggplants: recommendations (Vegetable grower's Library) / V.A. Ludilov, V.A. Fomin – Rostov-on-Don: Rostizdat, 1981. – 56 p.
10. Mammadov, M.I. Eggplant (*Solanum* spp.) / M.I. Mammadov, O.N. Pyshnaya, E.A. Jos et al. – M.: VNIISSON, 2015. 264 p.
11. Machulkina, V.A. Environmental safety of eggplant depending on the age and size of fruits / V.A. Machulkina, T.A. Sannikova, M.Y. Puchkov, N.I. Antipenko // Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex – healthy food products. – 2015. – № 3. – Р. 39-44.
12. Ognev, V.V. Source material and prospects of eggplant breeding in the south of Russia / V.V. Ognev, N.V. Geraskina // Potatoes and vegetables. – 2020. – № 1. – Р. 35-40
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations: official website. – URL: <https://www.fao.org/statistics/ru> (accessed 09/20/2025)

14. Reference and information portal: weather and climate: website. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (accessed 09/20/2025)
15. Federal State Budgetary Institution “Gossortkommission”: official website. – Moscow. – URL: <https://gossortrf.ru> (accessed 09/20/2025)
16. Federal State Statistics Service: official website. – Moscow. – URL: <http://ssl.rosstat.gov.ru> (accessed 09/20/2025)
17. Federal Customs Service: official website. – URL: <https://customs.gov.ru> (accessed 09/20/2025)
18. International trade centre: official website. URL: <https://www.trademap.org/Index.aspx> (accessed 09/20/2025)
19. Daunay, M.C. Eggplant / M.C. Daunay, J. Prohens, F. Nuez // Handbook of plant breeding. – 2008. – № 2. – P. 163-220.
20. Fraikue, F.B. Unveiling the potential utility of eggplant: a review / F.B. Fraikue // Conference proceedings of INCEDI. – 29th-31st August, 2016 (Accra, Ghana)
21. Jing, P. Effect of glycosylatoins patterns of Chinese eggplant anthocyanins and other derivatives on antioxidant effectiveness in human colon of cell lines / P. Jing, B. Qian, S. Zhao, X. Qi, L. Ye, G.M. Monica, X. Wang // Food Chemistry. – 2015. — P. 183-189.
22. Kumar, A. Heterosis breeding in eggplant (*Solanum melongena* L.): gains and provocations / A. Kumar, V. Sharma, B.T. Jain, P. Kaushik // Plants. – 2020. – № 9(3). – P. 403 (2-16).
23. Osei, M.K. Characterization of African eggplant for morphological characteristics / M.K. Osei, B. Banful, C.K. Osei, M.O. Oluoch // Journal of Agricultural Science and Technology. – 2010. – № 4 (3). – P. 33-37.
24. Richard, J.J. Solanine: A discussion in brinjal by biochemical way / J.J. Richard, Y.A. Vasline, P. Anandan, T.K. Nivetha, R. Surya, P. Ambika // The pharma innovation journal. – 2022. – № 11 (10). – P. 1849-1850.
25. Sharma, M. Biochemical composition of eggplant fruits: a review / M. Sharma, P. Kaushik // Applied Sciences. – 2021. – № 11 (15). – P. 7078 (1-13).

Светлана Викторовна Королева

Заведующая отделом овощеводства,
ведущий научный сотрудник
E-mail: agrotransfer@mail.ru

Svetlana Victorovna Koroleva

Head of Vegeculture Growing Department, Leading
Researcher
E-mail: agrotransfer@mail.ru

Нелли Владимировна Полякова

Старший научный сотрудник
E-mail: nellipolyakova2019@mail.com

Nelly Vladimirovna Polyakova

Senior Research Assistant
E-mail: nellipolyakova2019@mail.ru

Ольга Геннадьевна Пистун

Научный сотрудник
E-mail: pistun-o@mail.ru

Olga Gennadievna Pistun

Research Assistant
E-mail: pistun-o@mail.ru

Екатерина Владимировна Шумилова

Младший научный сотрудник
E-mail: 79186778737agro@gmail.com

Ekaterina Vladimirovna Shumilova

Junior research assistant
E-mail: 79186778737agro@gmail.com

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»

350921, Краснодар, пос. Белозерный, 3

All: FSBSI «FSC of rice»

3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2025-69-4-41-46
УДК 633.15:631.524.01

Парпуренко Н. В.,
Огняник Л. Г., канд. с.-х. наук,
Лемещенко Р. А., канд. с.-х. наук,
Малаканова В.П., канд. с.-х. наук,
Сергиенко И. Н.
г. Краснодар, Россия

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТЕРИЛЬНОСТИ МАТЕРИНСКИХ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ В РАЗНЫХ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) является распространенным явлением у высших растений. За последние годы благодаря использованию ЦМС значительно упростилось практическое применение гетерозиса для экономического и масштабного выращивания гибридов кукурузы. Применение ЦМС – перспективный подход к решению актуальной задачи по поддержанию высокого уровня урожайности гибридов кукурузы. В статье представлен анализ практического использования признака цитоплазматической мужской стерильности в процессе семеноводства гибридных семян. Основная задача – создать высокопродуктивные гибриды кукурузы на основе М- и С-типов, провести оценку качества семян родительских форм с использованием зимнего и летнего питомников. На посев отбирали образцы стерильных материнских форм из девяти районированных гибридов кукурузы. Цветение метёлок оценивали в начале и конце фазы цветения по шестибалльной шкале. Типичность растений, наличие биологического засорения, стерильность определяли в период полного цветения метелок. В тропических условиях острова Хайнань две партии были забракованы для посева в 2025 году. Для улучшения качества зерна в партиях были проведены дополнительные работы по очистке и калибровке. В результате работы все изучаемые партии в условиях г. Краснодара были на уровне допустимого предела грунтового контроля. Получены данные исследований родительских стерильных форм гибридов кукурузы в контрастных условиях проведения испытаний. Изучение посевов материнских форм в разных климатических зонах показало значительное влияние погодных условий на стерильность метелок. Умеренно влажная и теплая погода в период перед цветением и во время цветения метелок способствует проявлению fertильности, уменьшая стерильность.

Ключевые слова: кукуруза, гибрид, стерильность, семеноводство.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE STERILITY OF MATERNAL PARENT FORMS OF CORN HYBRIDS IN DIFFERENT SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS

Cytoplasmic male sterility (CMS) is a common phenomenon in higher plants. In recent years, the use of CMS has greatly simplified the practical application of heterosis for inexpensive and large-scale cultivation of corn hybrids. The use of CMS is a promising approach to solving the urgent task of maintaining a high crop capacity level of corn hybrids. The article presents an analysis of the practical use of the attribute of cytoplasmic male sterility (CMS) in the process of seed production of hybrid seeds. The main task is to create highly productive corn hybrids based on M and C types, and to evaluate the seed quality of the parent forms using winter and summer nurseries. Samples of sterile maternal forms from nine zoned corn hybrids were taken for sowing. The panicle blooms were described on a six-point scale in the phase of the beginning and end of flowering. The typicality of plants, the presence of biological contamination and sterility were determined during the period of full flowering of the panicles. In the tropical conditions of Hainan Island, two batches were rejected for sowing in 2025. Additional cleaning and calibration work was carried out to improve the grain quality in the batches. As a result of the completed work, all the batches studied in Krasnodar city conditions were at the level of the permissible limit of soil control. The presented data from studies of parental sterile forms of corn hybrids under contrasting test conditions are shown in the tables. The study of crops of maternal forms in different climatic zones showed a significant influence of weather conditions on the sterility of panicles. Moderately humid and warm weather before and during panicle blooming promotes fertility, decreasing sterility

Key words: corn, hybrid, sterility, seed production.

Введение

Кубань – один из основных районов производства гибридных семян кукурузы. По своему потенциалу урожайности и кормовым достоинствам кукуруза превосходит все другие зернофуражные культуры. Зерно кукурузы незаменимый компонент для ком-

бикормовой промышленности, ценное сырье для пищевой, медицинской и ряда других отраслей производств. Для дальнейшего роста урожая зерна этой культуры особенно важное значение приобретает селекция новых высокопродуктивных гибридов. Н.К. Hayes и R.J. Garber в 1919 году предложили

принципы улучшения популяций кукурузы методом селекции. А в 1940 году М.Т. Jenkins более подробно изложил практические этапы применения этого метода [12, 13].

В основе селекции кукурузы лежит использование явления гетерозиса, широкое применение которого стало возможно с открытием ЦМС. Цитоплазматическая мужская стерильность – это генетическое состояние, при котором растение не образует функциональную пыльцу, но сохраняет женскую fertильность. Это позволяет исключить самоопыление и упростить производство гибридов. Но их проявление в большей степени зависит от внешних условий среды: температуры, влажности, срока посева, длины дня и др., например, при раннем сроке сева на посевах стерильных форм появляется много полуфертильных растений [10].

Исследования показали, что проявление ЦМС в большинстве случаев связано с сочетанием одного или двух рецессивных аллелей генов и особой цитоплазмы [15].

Внедрение ЦМС в производство гибридной кукурузы, начатое в 1954 г. в России, принадлежит М.И. Хаджинову [5, 6]. Э.И. Вахрушева и М.Т. Франковская продолжили исследования М.И. Хаджинова и начали работы по изучению особенностей использования гибридной кукурузы в селекции и семеноводстве. В результате, явление ЦМС позволило с 1962 года осуществить перевод гибридов кукурузы НЦЗ им. П.П. Лукьяненко на стерильную основу и в короткие сроки развернуть промышленное семеноводство.

Отделом селекции и семеноводства кукурузы НЦЗ им. П. П. Лукьяненко производятся семеноводческие партии родительских форм на молдавском типе стерильности. Молдавский тип стерильности характеризуется способностью к выбрасыванию пыльников. В основном пыльники пустые, сморщеные, не содержат fertильной пыльцы. Однако у единичных растений на отдельных веточках метелок возможно появление fertильной пыльцы.

Стерильные материнские партии кукурузы были созданы по двадцати районированным гибридам кукурузы, разрешенных для использования в одиннадцати регионах России и экспорта зерна кукурузы в другие республики (Беларусь, Казахстан, Кыргызстан).

Ежегодная оценка семенного материала родительских форм осуществляется методом грунт-контроля, который является одним из важнейших элементов сертификации семян [7]. Семена, не соответствующие требованиям грунт-контроля, не допускаются к продаже и посеву.

Цель исследований

Оценить качество убранных семян при использовании зимних и летних питомников, определить устойчивость стерильности в тропических условиях среды.

Основная цель селекции гибридов - повышение урожайности и стабильности урожая в различных погодных и агротехнических условиях, устойчивости к стрессам, засухе, избыточному увлажнению, высокой температуре.

Материалы и методы

Для посева в зимнем питомнике провели отбор образцов семян стерильных материнских форм гибридов кукурузы: РОСС 140СВ, РОСС 195 МВ, РОСС 199 МВ, Краснодарский 291 АМВ, Краснодарский 377 АМВ, Краснодарский 230 АМВ, Краснодарский 207 МВ, РОСС 186 МВ, Краснодарский 387 МВ, Краснодарский 210 МВ.

Посев кукурузы осуществляли вручную пунктирным способом без последующего прореживания растений. В период цветения метелок наличие fertильной пыльцы определяли методом натрясения на лист бумаги.

Зимний питомник в 2024 году располагался на острове Хайнань (КНР).

Тропический остров Хайнань находится на юге Китая, на одной широте с Гавайями, за что получил название «Восточные Гавайи». Его территория составляет 33920 км². Остров омывается водами Южно-Китайского моря [9]. Оценка стерильных партий материнских форм проводилась в декабре.

Погодные условия на о. Хайнань в декабре 2024 года по мнению синоптиков не отличались радикально от среднестатистических. Средняя температура днем была около +26 °C, ночью же средняя температура, согласно данным, была на уровне +20 °C [8]. При этом максимальная температура в этом месяце +28 °C, а минимальная + 15 °C.

Провинция на острове Хайнань расположена на красноземах, имеющих красноватую или оранжевую окраску и отличающихся высоким содержанием железа. Почвы отличаются повышенной кислотностью. Содержание гумуса в верхнем горизонте достигает 6-9 %. В начале октября 2024 года в климатических условиях о. Хайнань был высечен материал материнских стерильных форм кукурузы. В середине декабря 2024 года развитие растений достигло периода выброса метелок и появления столбиков с рыльцами.

В климатических условиях г. Краснодара максимальная средняя температура воздуха в летние месяцы была + 38,5 °C, а минимальная средняя + 20,8 °C. Влажность воздуха в июле достигала 45 %. Погодные условия характеризовались как засушливые.

Почвы летнего питомника представлены черноземами выщелоченными сверхмощными слабогумусными. По механическому составу они тяжелосуглинистые, с хорошо выраженной комковато-зернистой структурой [3].

Следует отметить, что в обеих зонах изучения использовался искусственный полив по мере просыхания почвы.

Описание стерильности метелок кукурузы проводили на основе визуальной оценки по шкале М.И. Хаджинова и Э.И. Вахрушевой (рис. 1) [5].

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты оценки стерильных родительских форм гибридов кукурузы зимнего питомника.

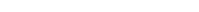
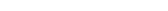
Оценка в баллах	Характеристика		Фото
0	Пыльники не выходят из чешуи	Стерильные	
1	Выход единичных стерильных пыльников (1-3%)		
1+	Выход единичных фертильных пыльников (1-3%)		
2	Массовый выход стерильных пыльников		
2+	Массовый выход стерильных и единичных фертильных пыльников (5-20%)		
3	Массовый выход стерильных пыльников и до 30% фертильных пыльников		
4	Выход 50% стерильных и 50% фертильных пыльников		
5	Нормальное цветение, пыльники щуплые фертильные		
6	Интенсивное нормальное цветение		

Рисунок 1. Шкала определения стерильности и фертильности у растений с ЦМС

Таблица 1. Результаты оценки родительских форм кукурузы в зимнем питомнике о. Хайнань, декабрь 2024 г., Китай

№ п/п	Родительские формы	№ партии	Количество растений, шт.	Стерильность, %	Оценка стерильности в баллах
1	Кр 714М	2405	260	98,5	0, 1
2	Кр 742М	2401	299	94,0	0, 1, 2
3	Калина М	2229	308	98,4	0
4	Кр 840 М	2404	222	99,1	0
5	Кр 773М	2411	256	98,0	0
6	Кр 640УМ	2423	313	99,7	0, 1, 2
7	Кр 640УМ	2427	293	98,0	0, 1, 2
8	Ольга С	2432	331	94,0	0, 1

Представленные данные исследований материнских форм гибридов кукурузы на стерильность растений в таблице свидетельствуют, что все образцы соответствовали необходимым требованиям за исключением партий 2401 и 2432, у которых стерильность достоверно ниже требований стандарта.

А также показатель цветения метелки в тропической зоне свидетельствует о провоцировании погодного воздействия на стерильность [14]. Параметр стерильности дает возможность заранее определить бракованную партию, экономит затраты на выращивание кукурузы в нашем регионе.

Таблица 2. Характеристика стерильности материнских форм кукурузы, г. Краснодар 2025 г.

№ п/п	Родительские формы	№ партии	Количество растений, шт.	Стерильность, %	Оценка стерильности в баллах
1	Кр 714М	2405	200	99,5	0
2	Кр 742М	2401	191	98,4	0,1
3	Калина М	2229	203	99,5	0
4	Кр 840 М	2404	186	99,2	0
5	Кр 773М	2411	208	98,0	0
6	Кр 640УМ	2423	264	98,0	0,1
7	Кр 640УМ	2427	231	99,2	0,1
8	Ольга С	2432	209	99,1	0

Полученные результаты оценки стерильных материнских форм таблицы 2 соответствуют допустимому процентному соотношению. Эти формы входят в состав 9 районированных гибридов кукурузы и могут быть использованы для посева в семеноводческих хозяйствах [1, 2].

При сравнении разных почвенно-климатических условий выяснили, что в условиях тропиков наблюдался меньший процент стерильности, повышенная влажность стимулировала цветение метёлок [4]. Партии 2401 и 2432 превысили допустимый показатель грунтконтроля. А в условиях г. Краснодара у этих же партий была отмечена стерильность в

допустимых пределах. Можно утверждать, что засушливые погодные условия способствуют повышению стерильности метёлок, но снижают образование пыльцы.

Выводы

1. Использование зимнего питомника позволяет оценить семеноводческие партии кукурузы и своевременно заменить бракованную партию или провести дополнительную очистку материала.

2. ЦМС является важным инструментом в современной селекции кукурузы, позволяя создавать высокорожайные гибриды с хорошими качественными характеристиками.

Литература

- Гибриды кукурузы селекции: ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко», характеристики гибридов, производители семян Н.Ф. Лавренчук [и др.] – Краснодар, ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко», 2024.– 31 с.
- Сорта и гибриды: каталог / Л.А. Беспалова, В.М. Лукомец, А.А. Романенко, О.Ф. Колесникова [и др.]; ред. В.М. Лукомец; рец. В.С. Ковалев, С.В. Зеленцов; ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко». — Краснодар: ЭДВИ, 2024. – С. 113-138.
- Терпелец, В.И. Почвенно-агроэкологические основы рекультивации земель в условиях Западного Предкавказья: автореф. дис. д-ра с.-х. наук: 06.01.03 / Терпелец Виктор Иванович. - Краснодар, 2001. – 45 с.
- Франковская, М.Т. Проявление и использование цитоплазматической мужской стерильности у кукурузы / М.Т. Франковская, Л.Г. Огняник, Н.Н. Кущ // Генетика. Селекция и технология возделывания кукурузы. - 1999. - С. 44-57.
- Хаджинов, М.И. Использование ЦМС в селекции семеноводства кукурузы / М.И. Хаджинов, Э.И. Вахрушева // Сб. Опыт выращивания гибридных семян кукурузы на стерильной основе. – М. Издательство Министерства с.-х. СССР. – 1964. – С. 29-64.
- Хаджинов, М.И. Использование цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) в семеноводстве гибридной кукурузы в Краснодарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства. / М.И. Хаджинов, Э.И. Вахрушева // Генетика. - 1966. - № 9. - С. 107-117.
- Чуйкин, П.В. Сертификация посевного материала как основа семеноводства // Автореф. дис. канд. с.-х. наук 06.01.05 / Чуйкин Петр Васильевич. - Краснодар, 2004.
- Сайт ProstoPogoda.ru. Санья, декабрь 2024 [Электронный ресурс] / ProstoPogoda.ru. — Режим доступа: <https://prostopogoda.ru/chn/hajnan/sanya/dekabr-2024/> (дата обращения: 06.10.2025г).
- Википедия. Хайнань (рус.) [Электронный ресурс] / Wikipedia. —Архивная копия: <https://web.archive.org/web/20220524214748/https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Хайнань> (дата обращения: 06.10.2025г).
- Anderson, L.E. Similarities between chloroplast can zymes fructose 1 – 6 diphosphat addles. / L.E. Anderson. // Preceding international congress on photosynthesis research. - Italy, 1971. – Р. 727–731.

11. Crow, J.F. Alternative hypothesis of hybrid vigor / J.F. Crow // Genetica. - 1948. - V. 33. - № 5. - P. 471 – 487.
12. Hayes, H.K. Synthetic production of high protein corn in relation to breeding / H.K. Hayes, R.J. Garber // Agron. J. – 1919. – V.11. – P. 309-318.
13. Jenkins, M.T. The segregation of genes affecting yield of grain in maize / M.T. Jenkins // Agron. J. – 1940. – V. 32. – P. 55-63.
14. Mitra, R. Is enzymes and polyploidy. 1 Qualitative and quantitative Iso enzyme studies in the Tritieinae. / R. Mitra, C.R. Bharia // Giener. Res. – 1971. - V. 18. - № 1. – P. 57-69.
15. Paul Grum Cytoplasmic and solution / Paul Grum. // Columbia University press (New York), 1976. - 300 p.

References

1. Corn hybrids bred by FSBSI «National Grain Center named after P.P. Lukyanenko», characteristics of hybrids, seed producers/ N.F. Lavrenchuk [et al]- Krasnodar, FSBSI «National grain center named after P.P. Lukyanenko», 2024-31p.
2. Varieties and hybrids: catalog / L.A. Bespalova, V.M. Lukomets, A.A. Romanenko, O.F. Kolesnikova [et al.]; edited by V.M. Lukomets; rec. V.S. Kovalev, S.V. Zelentsov; Federal State Budgetary Scientific Institution “National Grain Center named after P.P. Lukyanenko”. Krasnodar: EDVI Publ., 2024, P. 113-138.
3. Terpelets, V.I. Soil and agroecological foundations of land reclamation in the Western Ciscaucasia: abstract of the dissertation of Doctor of Agricultural Sciences: 06.01.03/ Terpelets Viktor Ivanovich. - Krasnodar, 2001. – 45 p.
4. Frankovskaya, M.T. The manifestation and use of cytoplasmic male sterility in corn / M.T. Frankovskaya, L.G. Ognyanik, N.N. Kutz // Genetics. Breeding and technology of corn cultivation. - 1999. - P. 44-57.
5. Khadzhinov, M.I. The use of CMS in corn seed breeding / M.I. Khadzhinov, E.I. Vakhrusheva // Col. The experience of growing hybrid corn seeds on a sterile basis. – M. Publishing House of the Ministry of Agriculture of the USSR. – 1964. – P. 29-64.
6. Khadzhinov, M.I. The use of cytoplasmic male sterility (CMS) in seed production of hybrid corn at the Krasnodar Scientific Research Institute of Agriculture. / M.I. Khadzhinov, E.I. Vakhrusheva. // Genetics. - 1966. - № 9. - P. 107-117.
7. Chuikin, P.V. Certification of seed material as the basis of seed production // Abstract of Ph.D. thesis 06.01.05 / Chuikin Peter Vasilyevich. - Krasnodar, 2004.
8. The website ProstoPogoda.ru. Sanya, December 2024 [Electronic resource] / ProstoPogoda.ru. — Access mode: <https://prostopogoda.ru/chn/hajnan/sanya/dekabr-2024> (date of request: 06.10.2025).
9. Wikipedia. Hainan (rus.) [Electronic resource] / Wikipedia. —Archived copy: <https://web.archive.org/web/20220524214748/https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Hainan> (date of application: 06.10.2025).
10. Anderson, L.E. Similarities between chloroplast can zymes fructose 1 – 6 diphosphat addles. / L.E. Anderson. // Preceding international congress on photosynthesis research. - Italy, 1971. – P. 727-731.
11. Crow, J.F. Alternative hypothesis of hybrid vigor / J.F. Crow // Genetica. - 1948. - V. 33. - № 5. - P. 471 – 487.
12. Hayes, H.K. Synthetic production of high protein corn in relation to breeding / H.K. Hayes, R.J. Garber // Agron. J. – 1919. – V. 11. – P. 309-318.
13. Jenkins, M.T. The segregation of genes affecting yield of grain in maize / M.T. Jenkins // Agron. J. – 1940. – V. 32. – P. 55-63.
14. Mitra, R. Is enzymes and polyploidy. 1 Qualitative and quantitative Iso enzyme studies in the Tritieinae. / R. Mitra, C.R. Bharia // Giener. Res. – 1971. - V. 18. - № 1. – P. 57-69.
15. Paul Grum Cytoplasmic and solution / Paul Grum. // Columbia University press (New York), 1976. - 300 p.

Наталья Владимировна Парпуренко
Старший научный сотрудник отдела селекции
и семеноводства кукурузы,
E-mail: Parpurenko10@mail.ru

Natalya Vladimirovna Parpurenko
Senior Researcher at the Department of Corn
Breeding and Seed Production,
E-mail: Parpurenko10@mail.ru

Людмила Григорьевна Огняник
Ведущий научный сотрудник отдела селекции и
семеноводства кукурузы,
E-mail: kniish@kniish.ru

Lyudmila Grigorievna Ognyanik
Leading Researcher of the Department of Corn
Breeding and Seed Production,
E-mail: kniish@kniish.ru

Роман Анатольевич Лемещенко
Ведущий научный сотрудник
отдела селекции и семеноводства кукурузы,
E-mail: lemeshenko@list.ru

Roman Anatolyevich Lemeshchenko
Leading Researcher of the Department of Corn
Breeding and Seed Production,
E-mail: lemeshenko@list.ru

Валентина Пантелейевна Малаканова

Ведущий научный сотрудник
отдела селекции и семеноводства кукурузы,
доцент
E-mail: malakanova_vp@mail.ru

Valentina Panteleevna Malakanova

Leading Researcher of the Department of Corn
Breeding and Seed Production, Associate Professor
E-mail: malakanova_vp@mail.ru

Игорь Николаевич Сергиенко

Младший научный сотрудник отдела селекции
и семеноводства кукурузы,
E-mail:kniish@kniish.ru

Igor Nikolaevich Sergienko

Junior Researcher of the Department of Corn
Breeding and Seed Production,
E-mail: kniish@kniish.ru

Все: ФГБНУ «Национальный центр

зерна им. П.П. Лукьяненко»

Центральная Усадьба КНИИСХ,
3500012, Краснодар, Россия

All: Federal State Budgetary Scientific Institution «P.P.

Lukyanenko National Grain Center»

Central Estate of the NGCenter named after P.P.
Lukyanenko, 300012, Krasnodar, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2025-69-4-47-53
УДК 634.73; 631.532/.535; 631.544.4

Нечипоренко И.В.,
Сергеева К.С.,
Акимова С.В., д-р с.-х. наук,
Буланов А.Е., канд. с.-х. наук,
Севостьянов М.А., канд. тех. наук
г. Москва, Россия

ОСОБЕННОСТИ АДАПТАЦИИ ГОЛУБИКИ ПОЛУВЫСОКОЙ В МИНИ-ПАРНИКАХ К УСЛОВИЯМ *EX VITRO*

Возделывание промышленных площадей под закладку культуры голубики стабильно растёт по всему миру, особенно активно в последнее десятилетие. Поэтому современное состояние питомниководства требует новых решений и подходов к получению высококачественного посадочного материала данной культуры, что возможно в настоящее время только при использовании технологии клonalного микроразмножения (*in vitro*). Цель исследования - изучить влияние адаптогенов «Аминосил для голубики» и белка MF3, и стимулятора корнеобразования «Фитоклон» на укореняемость при адаптации в условиях *ex vitro* микрочеренков голубики полувысокой (*V. corymbosum L. × V. angustifolium Ait.*) сорта *Northblue*. Объектом исследований служили неукорененные *in vitro* микрочеренки голубики полувысокой (*V. corymbosum L. × V. angustifolium Ait.*) сорта *Northblue*. Микрочеренки высаживали в мини-парники с кассетами на 48 ячеек куполообразной формы с регулируемыми отверстиями (для вентиляции). На 45-^е сутки адаптации выявлено достоверное преимущество вымачивания микрочеренков перед высадкой в адаптогене «Аминосил для голубики» (20 мл/л, время экспозиции 60 мин.), как с обработкой базальной части микрочеренков стимулятором корнеобразования «Фитоклон» (укореняемость 100 %, количество корней в 2,2 раза выше, чем в контроле), так и без обработки стимулятором корнеобразования (укореняемость 96,6 %, количество корней в 1,3 раза выше контроля). Следует отметить, что наибольшее влияние на суммарную длину побегов и количество листьев оказали обработки адаптогенами «Аминосил для голубики» и белок MF3 без обработки базальных частей микрочеренков стимулятором корнеобразования, так как при этом показатели в 1,2 раза превышают показатели контроля.

Ключевые слова: *Vaccinium*, микроразмножение, адаптация, укоренение микрочеренков, *ex vitro*, адаптогены.

FEATURES OF HALF-HIGH BLUEBERRIES ADAPTATION TO *EX VITRO* CONDITIONS IN MINI-GREENHOUSES

*The cultivation of industrial plantations for blueberry planting has been steadily growing worldwide, especially in the last decade. Currently, the modern state of nursery cultivation requires new solutions and approaches to obtaining high-quality planting material for this crop, which is only possible with the use of clonal micropropagation (*in vitro*) technology. This study was conducted to investigate the effect of the adaptogens 'Aminosil for blueberries' and MF3 protein, and the root formation stimulator Fitoklon on the rooting of microcuttings of half-high blueberries (*V. corymbosum L. × V. angustifolium Ait.*) of the Northblue variety during *ex vitro* adaptation. The object of the study were unrooted *in vitro* microcuttings of half-high blueberries (*V. corymbosum L. × V. angustifolium Ait.*) of the Northblue variety. The microcuttings were planted in mini greenhouses with 48-cell dome-shaped cassettes with adjustable vents (for ventilation). On the 45th day of adaptation, a significant advantage was revealed in soaking microcuttings before planting in the adaptogen 'Aminosil for blueberries' (20 ml/L, exposure time 60 min), both when treating the basal part of the microcuttings with the root formation stimulator Fitoklon (100 % rooting, the number of roots 2.2 times higher than the control), and without treatment with the root formation stimulator (96.6 % rooting, the number of roots 1.3 times higher than the control). It should be noted that the total length of shoots and the number of leaves were more affected by treatment with the adaptogens 'Aminosil for blueberries' and MF3 protein without treating the basal parts of the microcuttings with a root formation stimulant, as these indicators exceeded the control indicators by 1.2 times.*

Key words: *Vaccinium*, micropagation, adaptation, rooting microcuttings, *ex vitro*, adaptogens.

Введение

Современное состояние культуры голубики, как для крупных производителей, так и для частных фермерских хозяйств, характеризуется ростом популярности, выведением новых сортов, а также вниманием

к правильному питанию и агротехнике. В связи с этим существует необходимость в закладке новых промышленных плантаций разных видов голубики, относящейся к роду *Vaccinium L.*, прежде всего из группы промышленно-значимой секции *Vaccinium*

sect. *Cyanosoccus* Rydb. spp. [16]. Промышленные насаждения голубики в основном располагаются в регионах Америки и Азии, что составляет около 80 % площадей мировых плантаций. Китай лидирует по площади промышленных плантаций [11]. В настоящее время по данным международной организации по голубице (IBO) мировые площади в 2023 году составили 267 тыс. га и продолжают увеличиваться [24]. В России промышленные площади постепенно растут, но всё равно остаются на низком уровне. В 2025 году в Кабардино-Балкарии площадь промышленных плантаций голубики превышает 170 га, во Владимирской области заложена контейнерная плантация в 30 га, а в Костромской и Смоленской областях на ягодных плантациях посадки превысили 300 и 25 га соответственно. При этом в средней полосе России, где местами преобладают нестабильные температурные колебания в зимне-весенний и осенне-зимний периоды, существует потребность в сортах голубики, устойчивых к неблагоприятным факторам. В качестве таких промышленных сортов могут выступать растения голубики полувысокорослые или гибридного происхождения, имеющие в своем генотипе гены зимостойкости и крупноплодности, например, в качестве доноров таких генов выступают голубика узколистная (*Vaccinium angustifolium* Ait.) и топяная (*Vaccinium uliginosum* L.) [15, 2].

Однако традиционные способы вегетативного размножения (размножение одревесневшими и зелеными черенками) не отвечают поставленным задачам, характеризуются ограниченностью сезонного роста побегов и плохой укореняемостью черенков [19, 1]. Поэтому в настоящее время для получения требуемого количества качественного посадочного материала растений рода *Vaccinium* L. эффективно использовать технологию клонального микроразмножения [13, 14]. При этом в данной технологии одной из основных проблем является то, что значительная часть размноженных растений может быть утрачена или повреждена на стадии адаптации и последующей акклиматизации к нестерильным условиям [12, 17]. Известно, что главной задачей является формирование и функционирование корневой системы при сохранении влажности воздуха близкой к 100 % в зоне

надземной части при относительной стерильности субстрата. Основным критерием приживаемости микрорастений является начало роста надземных органов, которое свидетельствует об адаптации корневой системы к нестерильным условиям субстратной микрофлоры, что чаще всего занимает 2-3 недели [7].

Значительным фактором успешной адаптации растений к нестерильным условиям является выработка собственного иммунитета растений – способность отвечать на стресс-факторы, такие как фотонгибирирование, пониженная влажность и патогенная микрофлора субстрата [18, 4]. Для преодоления этих проблем применяют светодиоды в качестве источника света, использование специальных адаптационных парников с автоматическим снижением влажности, обработка препаратами, стимулирующими иммунитет растений и др. [21, 22].

Цель исследований

Изучить влияние адаптогенов «Аминосил для голубики» и MF3 и стимулятора корнеобразования «Фитоклон» на укореняемость при адаптации в условиях *ex vitro* микрочеренков голубики полувысокой (*V. corymbosum* L. × *V. angustifolium* Ait.) сорта Northblue.

Материалы и методы

Опыты проводили в 2023, 2024 гг. в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (ФГБНУ ВНИИФ) в лаборатории оздоровления и исследования адаптационного потенциала культур и растений и в УНПЦ садоводства и овощеводства имени В.И. Эдельштейна ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева по методикам А.В. Кильчевского и Е.Н. Седова [3, 10].

Объектом исследований служили неукорененные *in vitro* микрочеренки голубики полувысокой (*V. corymbosum* L. × *V. angustifolium* Ait.) сорта Northblue (рис. 1).

Сорт был выведен в 1973 году в Университете штата Миннесота в рамках селекционной программы. Однако его испытания в других регионах возможно- го культивирования начались лишь с 1986 года и по сегодняшний день гибридный сорт считается очень зимостойким и весьма перспективным [8, 20].



Рисунок 1. Внешний вид *ex vitro* микрорастений голубики после адаптации на 45 сутки адаптации

На этапе адаптации микрочеренки предварительно перед высадкой в грунт вымачивали в растворах с добавлением адаптогенов биологической природы, после чего обрабатывали укоренителем по вариантам.

В качестве адаптогенов использовали: 1) «Аминосил для голубики» – полученный на основе комплекса поливитаминов (20 мл/л); 2) белок MF3 – пептидил-пролил-цис/транс-изомераза FKBP-типа, выделенный из рост-стимулирующей бактерии *Pseudomonas fluorescens* (100 мл/л), 3) контроль – вода дистиллированная [23, 5]. Время экспозиции 1 секунда.

В качестве укоренителя использовали фитогель – Фитоклон, время экспозиции 1 секунда.

Микрочеренки высаживали в кислый верховой торф «Сила Суздали» ($\text{pH}_{\text{KCL}} \leq 4,0$) по вариантам в сборные мини-парники с кассетами на 48 ячеек куполообразной формы с регулируемыми отверстиями (для вентиляции) от HobbyFarm.

Мини-парники располагали под светодиодными фитосветильниками Zéma ZML-0160, где плотность потока фотосинтетических фотонов (PPFD) составила 120 мкмоль/м²/с на расстоянии от растений в 50 см с 16/8-часовым (день/ночь) фотопериодом на 45 суток.

По окончании этапа адаптации на 45 сутки культивирования в мини-парниках учитывали укореняемость (%) при адаптации и морфометрические показатели развития адаптированных *ex vitro* растений: количество (шт.) и суммарную длину корней (см), количество (шт.) и суммарную длину побегов (см), а также количество листьев на одном растении (шт.).

Повторность опыта трехкратная, по 10 растений в одной повторности. Статистическую обработку данных проводили при помощи двухфакторного дисперсионного анализа по методикам В.Ф. Моисейченко и А.В. Исачкина, с использованием компьютерных программ Microsoft Office Excel 2019 и PAST 4.03, что подтвердило достоверность полученных результатов исследований [6, 9]. Статистически значимые различия средних значений проверяли с помощью t-кри-

терия ($P < 0,05$). Данные представлены в виде средних значений и стандартной ошибки среднего ($M \pm SEM$).

Результаты и обсуждение

На 45-е сутки культивирования в мини-парниках по окончании адаптации и укоренения микрочеренков голубики сорта Northblue по результатам двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что наличие укоренителя «Фитоклон» (фактор А), наличие адаптогенов «Аминосил для голубики» и MF3 (фактор В) и их взаимодействие (фактор АВ) достоверно влияют на морфометрические показатели *ex vitro* микрорастений голубики.

При учётах и наблюдениях за укореняемостью и показателями развития опытных растений в вариантах без обработки укоренителем Фитоклон было выявлено, что наибольшая укореняемость – 96,6 % и достоверные отличия от контроля по числу корней, суммарной длине побегов и количеству листьев, получены в варианте с обработкой микрочеренков адаптогеном «Аминосил для голубики». Максимальная укореняемость составила 100 % и количество корней ($7,40 \pm 0,30$ шт. против $6,27 \pm 0,35$ шт. в контроле) отмечены в вариантах с применением укоренителя Фитоклон при обработке препаратом «Аминосил для голубики».

Однако при оценке морфометрических показателей развития было установлено, что совместное применение укоренителя Фитоклон и адаптогена MF3 наиболее выражено проявлялось на количестве и суммарной длине корней, где $5,73 \pm 0,29$ шт. против $2,93 \pm 0,36$ шт. и $8,66 \pm 0,70$ см против $5,71 \pm 0,80$ см без стимулятора корнеобразования, соответственно. Но при этом на суммарную длину побегов и количество листьев в большей мере сработали обработки адаптогенами без применения препарата «Фитоклон», как при обработке препаратом «Аминосил для голубики», так и белка MF3, при этом показатели составили $4,06 \pm 0,31$ - $4,30 \pm 0,38$ см против $3,40 \pm 0,19$ - $3,52 \pm 0,23$ см и $12,53 \pm 0,69$ - $14,63 \pm 0,94$ шт. против $11,10 \pm 0,68$ - $12,47 \pm 0,59$ шт. в вариантах с укоренителем (табл. 1).

Таблица 1. Морфометрические показатели развития адаптируемых *ex vitro* микрорастений голубики гибридной (*V. corymbosum* L. x *V. angustifolium* Ait.) сорта Northblue

Адаптоген (Фактор В)	Укореняемость микрочеренков, %	Количество корней, шт.	Суммарная длина корней, см	Количество побегов, шт.	Суммарная длина побегов, см	Количество листьев, шт.
без обработки стимулятора корнеобразования Фитоклон (Фактор А)						
Вода (контроль)	73,3	$2,53 \pm 0,38$	$4,44 \pm 0,74$	$1,37 \pm 0,10$	$2,86 \pm 0,19$	$10,80 \pm 0,43$
«Аминосил для голубики»	96,6	$3,40 \pm 0,28$ b	$7,98 \pm 0,83$	$1,77 \pm 0,18$ a	$4,06 \pm 0,31$ a, b	$14,63 \pm 0,94$ a, b
Белок MF3	80,0	$2,93 \pm 0,36$	$5,71 \pm 0,80$	$1,57 \pm 0,13$ a	$4,30 \pm 0,38$ a, b	$12,53 \pm 0,69$ a, b

Продолжение таблицы 1

с обработкой стимулятора корнеобразования Фитоклон (Фактор А)						
Вода (контроль)	96,6	6,27 ± 0,35 а	9,80 ± 0,83 а	1,23 ± 0,12	2,72 ± 0,21	10,67 ± 0,55
Аминосил	100,0	7,40 ± 0,30 а, б	8,98 ± 0,62	1,30 ± 0,10	3,52 ± 0,23 б	12,47 ± 0,59 б
Белок MF3	96,6	5,73 ± 0,29 а	8,66 ± 0,70 а	1,13 ± 0,10	3,40 ± 0,19 б	11,10 ± 0,68
HCP ₀₅ а	-	0,53	1,21	0,20	0,42	1,07
HCP ₀₅ б	-	0,77	Fe<Fт	Fe<Fт	0,61	1,56
HCP ₀₅ аб	-	Fe<Fт	3,05	Fe<Fт	Fe<Fт	Fe<Fт

Примечание - HCP₀₅ была рассчитана с помощью двухфакторного дисперсионного анализа: где результаты выражены как среднее значение (M) ± стандартная ошибка среднего (SEM); «а, б, аб» – разница между средними с контролем достоверна на основе сравнения разниц между средними с HCP на 5 % уровне значимости: «а» – по фактору А (наличие укоренителя), «б» – по фактору В (адаптоген), «аб» – при взаимодействии факторов; «Fe<Fт» – F эмпирическое < F теоретическое, не доказана разница между средними с HCP на 5 % уровне значимости

Выводы

При подготовке адаптации и укоренении в условиях *ex vitro* и микрочеренков голубики полувысокой (*V. corymbosum* L. × *V. angustifolium* Ait.) сорта Northblue рекомендуется замачивать в адаптогене «Аминосил для голубики» (20 мл/л, время экспозиции 60 мин.). При обработке базальной части микрочеренков стимулятором корнеобразования «Фитоклон» укореняемость микрочеренков в условиях *ex vitro* достигает 100 %, а число корней превышает контроль в 2,2 раза.

При применении препарата «Аминосил для голубики» без обработки базальной части микрочеренков стимулятором корнеобразования укореняемость микрочеренков в условиях *ex vitro* составляет 96,6 %, а количество корней в 1,3 раза выше, чем у контроля.

Полученные данные применимы при адаптации микрорастений голубики как в научных целях, так и при коммерческом использовании для крупномасштабного производства.

Литература

1. Воскобойников, Ю.В. Оптимизация технологии зелёного черенкования голубики высокорослой / Ю.В. Воскобойников, С.В. Акимова, М.П. Мацкевич, В.И. Деменко, В.Д. Стрелец, Л.А. Паничкин, А.В. Константинович // Плодоводство и ягодоводство России. – 2019. – Т. 59. – С. 53-60. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2019-59-53-60>
2. Гордей, Д.В. Особенности габитуса межвидовых гибридов голубики (*Vaccinium corymbosum* L. (Spartan, Duke) ♀ × *Vaccinium angustifolium* Ait. ♂), культивируемых на верховом торфянике Белорусского Поозерья / Д.В. Гордей, О.В. Морозов // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2022. – № 2. – С. 109-118.
3. Генетические основы селекции растений. В 4 т. Т. 3. Биотехнология в селекции растений. Клеточная инженерия / науч. ред. А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. – Минск: Беларус. наука, 2012. – 489 с.
4. Деменко, В.И. Адаптация растений, полученных *in vitro*, к нестерильным условиям / В.И. Деменко, В.А. Лебедев // Известия ТСХА. – 2011. – № 1. – С. 60-70.
5. Ерохин, Д.В. Бактериальный белок MF3: возможные механизмы его защитного действия против вируса мозаики табака и рост-стимулирующих эффектов / Д.В. Ерохин, Л.А. Щербакова, Д.Я. Эммер, К.А. Чудакова, В.Г. Джавахия // Материалы VIII Пущинской конференции «Биохимия, физиология и биосфера роль микроорганизмов». – 2022. – С. 130-132. <http://doi.org/10.34756/GEOS.2022.17.38323>
6. Исачкин, А.В. Основы научных исследований в садоводстве: учебник для вузов / А.В. Исачкин, В.А. Крючкова, под редакцией А.В. Исачкина. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 420 ил. – Текст: непосредственный
7. Корнацкий, С.А. Комплекс факторов, влияющих на жизнеспособность, рост и развитие микрорастений после культуры *in vitro* / С.А. Корнацкий // Плодоводство и ягодоводство России. – 1999. – Т. 6. – С. 64-68.
8. Макаров, С.С. Совершенствование технологии адаптации *Vaccinium angustifolium* и *Vaccinium corymbosum* *ex vitro* в открытом грунте / С.С. Макаров, А.И. Чудецкий, И.Б. Кузнецова, Е.И. Куликова, А.Н. Кульчицкий, Н.Р. Сунгуррова // Техника и технология пищевых производств. – 2025. – Т. 55. – № 1. – С. 107-121. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>
9. Моисейченко, В.Ф. Основы научных исследований в плодоводстве, овощеводстве и виноградар-

стве / В.Ф. Моисейченко, А.Х. Заверюха, М.Ф. Трифонова. – М.: Колос, 1994. – 383 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

10. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцевой. – Орел: ВНИИСПК, 1999. – 606 с.

11. Brazelton, C. Global state of the blueberry industry report / C. Brazelton, C. Fain, M. Ogg. – IBO, 2023. – 226 p.

12. Clapa, D. Aspects regarding the *in vitro* culture and ex vitro rooting in *Vaccinium macrocarpon* cultivar «Pilgrim» / D. Clapa, A. Fira, L.A. Vescan // Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies. – 2012. – V. 69. – P. 226-234. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:69:1-2:8489>

13. Coronel Montesdeoca, N.T. *In vitro* techniques to domesticate Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) and other *Vaccinium* species: a review / N.T. Coronel Montesdeoca, G.A. Jácome Sarchi, R. Martínez, F. Hernández // Plants. – 2025. – V. 14. – № 11. – P. 1-19. <https://doi.org/10.3390/plants14111596>

14. Correia, S. Advances in blueberry (*Vaccinium* spp.) *in vitro* culture: a review / S. Correia, M. Matos, F. Leal // Horticulturae. – 2024. – V. 10. – № 6. – P. 1-21. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060533>

15. Erst, A.A. Applying biotechnology in the propagation and further selection of *Vaccinium uliginosum* × (*V. corymbosum* × *V. angustifolium*) hybrids / A.A. Erst, A.B. Gorbunov, S.V. Asbaganov, M.S. Tomoshevich, E.V. Banaev, A.S. Erst // Plants. – 2021. – V. 10. – № 9. – P. 1-11. <https://doi.org/10.3390/plants10091831>

16. Fritsch, P.W. Systematics and evolution of *Vaccinium* sect. *Cyanococcus* (Ericaceae): progress and prospects / P.W. Fritsch, A.A. Crowl, H. Ashrafi, P.S. Manos // Rhodora. – 2024. – V. 124. № 998-9. – P. 301-332. <https://doi.org/10.3119/22-10>

17. Grzelak, M. Challenges and insights in the acclimatization step of micropropagated woody plants / M. Grzelak, A. Pacholczak, K. Nowakowska // Plant Cell Tiss. Organ Cult. – 2024. – V. 159. – № 72. – P. 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02923-1>

18. Kutas, E. Adaptation of regenerants of sterile cultures to ex vitro conditions - A review / E. Kutas // International Journal of Advanced Research in Biological Sciences. – 2024. – V. 11. – № 4. – P. 68-75.

19. Lee, J.G. Effect of rooting promoter and root zone temperature controls on growth and rooting of highbush blueberry cuttings / J.G. Lee, B.Y. Lee // Kor. J. Hort. Sci. Technol. – 2009. – V. 25. – № 1. – P. 7-11.

20. Luby, J.J. «Northblue», «Northsky», and «Northcountry» blueberries / J.J. Luby, D.K. Wildung, C. Stushnoff, S.T. Munson, P.E. Read, E.E. Hoover // HortScience. – 1986. – V. 21. – № 5. – P. 1240-1242. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.21.5.1240>

21. Sergeeva, K. Effect of MF3 (peptidyl-prolyl cis/trans isomerase) protein from *Pseudomonas fluorescens* on ex vitro adaptation and post-adaptation of hardy kiwi (*Actinidia arguta* Planch. ex Miq.) plants / K. Sergeeva, I. Nechiporenko, S. Popletaeva // BIO Web Conf. – 2024. – V. 139. – P. 1-8. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413901010>

22. Shiwani, K. Improvement of plant survival and expediting acclimatization process / K. Shiwani, D. Sharma, A. Kumar // In: Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops / eds. Gupta S., Chaturvedi P. – Springer, 2022. Ch. 12. – P. 277-291. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6_12

23. Shumilina, D. MF3 (peptidyl-prolyl cis-trans isomerase of FKBP type from *Pseudomonas fluorescens*) – an elicitor of non-specific plant resistance against pathogens / D. Shumilina, R. Krämer, E. Klocke, V. Dzhavakhiya // Phytopathol. Pol. – 2006. – V. 41. – P. 39-49.

24. The top 10 blueberry producing countries account for 88% of the world's total. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://blueberriesconsulting.com/en/los-10-principales-paises-productores-de-arandanos-concentran-el-88-del-total-mundial>. Дата обращения (2.09.2025).

References

1. Voskoboinikov, Yu.V. Optimization of the technology of green cuttings of the highbush blueberry / Yu.V. Voskoboinikov, S.V. Akimova, M.P. Matskevich, V.I. Demenko, V.D. Strelets, L.A. Panichkin, A.V. Konstantinovich // Pomiculture and small fruits culture in Russia. – 2019. – V. 59. – P. 53-60.
2. Gordey, D.V. Features of the habitus of interspecific blueberry hybrids (*Vaccinium corymbosum* L. (Spartan, Duke) ♀ × *Vaccinium angustifolium* Ait. ♂), cultivated on developed riding peat bogs in Belarusian Lakeland / D.V. Gordey, O.V. Morozov // Proceedings of BTSU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Recourses. – 2022. – № 2. – P. 109-118.
3. Genetic foundations of plant breeding. In 4 vols. Vol. 3. Biotechnology in plant breeding. Cell engineering / scientific editors A.V. Kilchevsky, L.V. Khotyleva. – Minsk: Belarusian Science, 2012. – 489 p.
4. Demenko, V. I. Adaptation of plants obtained *in vitro* to non-sterile conditions / V.I. Demenko, V.G. Lebedev // Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. – 2011. – № 1. – P. 60-70.
5. Erokhin, D.V. Bacterial protein MF3: possible mechanisms of its protective action against tobacco mosaic virus and growth-stimulating effect / D.V. Erokhin, L.A. Shcherbakova, D.Y. Emmer, K.A. Chudakova, V.G.

- Dzhavakhiya // Proceedings of the VII Pushchino Conference ‘Biochemistry, Physiology and Biospheric Role of Microorganisms’. – 2022. – P. 130-132. <http://doi.org/10.34756/GEOS.2022.17.38323>
6. Isachkin, A.V. Fundamentals of scientific research in horticulture: A Textbook for Universities; Isachkin, A.V., Kryuchkova, V.A. (Eds.). – Lan: St. Petersburg, Russia, 2020 – 420 p.
7. Kornatskiy, S.A. Complex of factors affecting viability, growth, and development of microplants after *in vitro* culture. / S.A. Kornatskiy // Pomiculture and small fruits culture in Russia. – 1999. – V. 6. – P. 64-68.
8. Makarov, S.S. Improving the ex vitro adaptation technology for *Vaccinium angustifolium* and *Vaccinium corymbosum* on the field / S.S. Makarov, A.I. Chudetsky, I.B. Kuznetsova, E.I. Kulikova, A.N. Kulchitsky, N.R. Sungurova // Food Processing: Techniques and Technology. – 2025. – V. 55. – № 1. – P. 107-121. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2558>
9. Moiseyichenko, V.F. Fundamentals of Scientific Research in Fruit Growing, Vegetable Growing and Viticulture / V.F. Moiseyichenko, A.Kh. Zaveryukha, M.F. Trifonova. – Moscow: Kolos, 1994. – 383 p.
10. Program and methods of studying varieties of fruit, berry and nut crop breeding / E.N. Sedov and T.P. Ogoltsova (eds.). Orel, VNIISPK, 1999. – 606 p.
11. Brazelton, C. Global state of the blueberry industry report / C. Brazelton, C. Fain, M. Ogg. – IBO, 2023. – 226 p.
12. Clapa, D. Aspects regarding the *in vitro* culture and ex vitro rooting in *Vaccinium macrocarpon* cultivar «Pilgrim» / D. Clapa, A. Fira, L.A. Vescan // Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies. – 2012. – V. 69. – P. 226-234. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:69:1-2:8489>
13. Coronel Montesdeoca, N.T. *In vitro* techniques to domesticate Mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) and other *Vaccinium* species: a review / N.T. Coronel Montesdeoca, G.A. Jácome Sarchi, R. Martínez, F. Hernández // Plants. – 2025. – V. 14. – № 11. – P. 1-19. <https://doi.org/10.3390/plants14111596>
14. Correia, S. Advances in blueberry (*Vaccinium* spp.) *in vitro* culture: a review / S. Correia, M. Matos, F. Leal // Horticulturae. – 2024. – V. 10. – № 6. – P. 1-21. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060533>
15. Erst, A.A. Applying biotechnology in the propagation and further selection of *Vaccinium uliginosum* × (*V. corymbosum* × *V. angustifolium*) hybrids / A.A. Erst, A.B. Gorbunov, S.V. Asbaganov, M.S. Tomoshevich, E.V. Banaev, A.S. Erst // Plants. – 2021. – Vol. 10. – № 9. – P. 1-11. <https://doi.org/10.3390/plants10091831>
16. Fritsch, P.W. Systematics and evolution of *Vaccinium* sect. *Cyanococcus* (Ericaceae): progress and prospects / P.W. Fritsch, A.A. Crowl, H. Ashrafi, P.S. Manos // Rhodora. – 2024. – V. 124. – № 998-9. – P. 301-332. <https://doi.org/10.3119/22-10>
17. Grzelak, M. Challenges and insights in the acclimatization step of micropropagated woody plants / M. Grzelak, A. Pacholczak, K. Nowakowska // Plant Cell Tiss. Organ Cult. – 2024. – V. 159. – № 72. – P. 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02923-1>
18. Kutas, E. Adaptation of regenerants of sterile cultures to ex vitro conditions - A review / E. Kutas // International Journal of Advanced Research in Biological Sciences. – 2024. – V. 11. – № 4. – P. 68-75.
19. Lee, J.G. Effect of rooting promoter and root zone temperature controls on growth and rooting of highbush blueberry cuttings / J.G. Lee, B.Y. Lee // Kor. J. Hort. Sci. Technol. – 2009. – V. 25. – № 1. – P. 7-11.
20. Luby, J.J. «Northblue», «Northsky», and «Northcountry» blueberries / J.J. Luby, D.K. Wildung, C. Stushnoff, S.T. Munson, P.E. Read, E.E. Hoover // HortScience. – 1986. – V. 21. – № 5. – P. 1240-1242. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.21.5.1240>
21. Sergeeva, K. Effect of MF3 (peptidyl-prolyl cis/trans isomerase) protein from *Pseudomonas fluorescens* on ex vitro adaptation and post-adaptation of hardy kiwi (*Actinidia arguta* Planch. ex Miq.) plants / K. Sergeeva, I. Nechiporenko, S. Popletaeva // BIO Web Conf. – 2024. – V. 139. – P. 1-8. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202413901010>
22. Shiwani, K. Improvement of plant survival and expediting acclimatization process / K. Shiwani, D. Sharma, A. Kumar // In: Commercial Scale Tissue Culture for Horticulture and Plantation Crops / eds. Gupta S., Chaturvedi P. – Springer, 2022. Ch. 12. P. 277-291. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0055-6_12
23. Shumilina, D. MF3 (peptidyl-prolyl cis-trans isomerase of FKBP type from *Pseudomonas fluorescens*) – an elicitor of non-specific plant resistance against pathogens / D. Shumilina, R. Krämer, E. Klocke, V. Dzhavakhiya // Phytopathol. Pol. – 2006. – V. 41. – P. 39-49.
24. The top 10 blueberry producing countries account for 88% of the world's total. [Electronic resource]. Access mode: <https://blueberriesconsulting.com/en/los-10-principales-paises-productores-de-arandanos-concentran-el-88-del-total-mundial>. Date of access (2.09.2025).

Иван Владиславович Нечипоренко
Аспирант РГАУ-МСХА имени Тимирязева, младший научный сотрудник ФГБНУ ВНИИФ
E-mail: vannechiporenko@gmail.com

Ivan Vladislavovich Nechiporenko
Postgraduate student at the RSAU-MTAA named after Timiryazev, Junior Researcher at the FSBSI VNIIF
E-mail: vannechiporenko@gmail.com

Светлана Владимировна Акимова
Профессор кафедры плодоводства, виноградарства и виноделия
E-mail: akimova@rgau-msha.ru

Svetlana Vladimirovna Akimova
Professor of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking
E-mail: akimova@rgau-msha.ru

Александр Евгеньевич Буланов
Старший преподаватель кафедры плодоводства, виноградарства и виноделия
E-mail: bulanov@rgau-msha.ru

Alexander Evgenievich Bulanov
Senior Lecturer of the Department of fruit growing, viticulture and winemaking
E-mail: bulanov@rgau-msha.ru

Все: Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева.
Россия, 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

All: Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy
Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127434, Russia

Ксения Сергеевна Сергеева
Младший научный сотрудник
E-mail: ponydero@mail.ru

Kseniia Sergeevna Sergeeva
Junior scientist
E-mail: ponydero@mail.ru

Михаил Анатольевич Севостьянов
Руководитель отдела безопасности и продуктивности агроэкосистем
E-mail: cmakp@mail.ru

Mikhail Anatolevich Sevostyanov
Head of the Department
E-mail: cmakp@mail.ru

Все: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»
Россия, 143050, р.п. Большие Вязёмы, ул. Институт, 5.

All: All-Russian Research Institute of Phytopathology
5, Institute street, Bolshie Vyazemy, Odintsovo district, Moscow oblast, 143050, Russia

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ДИНАМИКУ РОСТА И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ САЛАТА РОМЕН

Салат ромен (*Lactuca sativa L. var. Romana*) является значимой продовольственной культурой, характеризующейся высокой питательной ценностью. В настоящее время расширяется перспектива его круглогодичного ресурсосберегающего производства в ускоренные сроки в условиях защищенного грунта на многоярусных установках. Актуальным является создание искусственной световой среды, позволяющей максимально энергоэффективно сформировать фотосинтетически активную радиацию для получения высокой продуктивности и качества растительной продукции, что может быть реализовано за счет применения источников света, моделирующих естественные условия. В исследовании использовали оригинальные светодиодные светильники, имитирующие солнечное освещение в различное время суток: AFI-3000 (соотношение СС:ЗС:КС – 1:3:5, солнце у горизонта), AFI-4000 (1:2:2, послеполуденное освещение), AFI-5000 (1:1,5:1,5, полдень). Получено достоверное увеличение биомассы салата при использовании AFI-5000 на ~60 % и ~45 % относительно вариантов AFI-3000 и AFI-4000. Средняя площадь листа была выше для вариантов AFI-4000 и AFI-5000, площадь ассимилирующей листовой поверхности - для AFI-3000 и AFI-5000. Содержание нитратов в растительной продукции не превышало ПДК. Урожайность салата ромен с одного яруса в год составила 52,0 кг/м² для AFI-3000, 57,1 кг/м² для AFI-4000 и 82,5 кг/м² для AFI-5000. Общая тенденция к увеличению продуктивности растений наблюдалась при увеличении доли синего света в спектре освещения (AFI-3000<AFI-4000<AFI-5000). Таким образом, сорт салата ромен «Баллон» по продуктивности и качеству пригоден для выращивания в условиях интенсивной светокультуры. Использованные светодиодные светильники, имитирующие солнечный свет, могут быть рассмотрены как перспективный энергоэффективный ресурсосберегающий источник света для управляемого экологичного сельского хозяйства.

Ключевые слова: интенсивная светокультура, светодиоды, фотосинтетический поток фотонов, солнечный спектр, листовой салат, площадь ассимилирующей поверхности, продуктивность, качество.

INFLUENCE OF LED LIGHTING SPECTRAL COMPOSITION ON GROWTH DYNAMICS AND MORPHOMETRIC PARAMETERS OF ROMAINE LETTUCE

*Romaine lettuce (*Lactuca sativa L. var. Romana*) is an important food crop characterized by high nutritional value. Currently, there is a growing prospect for its year-round resource-saving production in accelerated timeframes in protected ground conditions on multi-tiered installations. The creation of an artificial light environment that allows for the most energy-efficient formation of photosynthetically active radiation to achieve high productivity and quality of plant products is relevant, which can be achieved through the use of light sources simulating natural conditions. In this study, original LED luminaires were used that imitate sunlight at different times of the day: AFI-3000 (B:G:R ratio of 1:3:5, the sun is at the horizon), AFI-4000 (1:2:2, afternoon lighting), AFI-5000 (1:1.5:1.5, midday). A significant increase in lettuce biomass was obtained with the use of AFI-5000 by ~60 % and ~45 % compared to the AFI-3000 and AFI-4000 variants. The average leaf area was higher for the AFI-4000 and AFI-5000 variants, and the assimilating leaf surface area was higher for AFI-3000 and AFI-5000. The resulting plant products did not exceed the MAC of nitrates. The yield of romaine lettuce from one tier during the year was 52,0 kg/m² for AFI-3000, 57,1 kg/m² for AFI-4000 and 82,5 kg/m² for AFI-5000. A general trend towards increasing plant productivity was observed with an increase in the proportion of blue light in the lighting spectrum (AFI-3000<AFI-4000<AFI-5000). Thus, the romaine lettuce variety «Ballon» is suitable for cultivation under intensive light conditions in terms of productivity and quality. The LED lamps used, which imitate sunlight, can be considered as a promising energy-efficient, resource-saving light source for controlled, environmentally friendly agriculture.*

Key words: intensive light culture, LEDs, photosynthetic photon flux, sunlike spectrum, lettuce, assimilative surface area, productivity, quality.

Введение

Салат роман (Lactuca sativa L. var. Romana) – важная овощная продовольственная культура, разновидность салата латука с удлиненно-ovalным кочаном и листьями, приподнятыми к розетке [4]. Значимость культуры как пищевого продукта обусловлена прежде всего высокой питательной ценностью, сбалансированным соотношением микро- (B, I, Fe, Mn, Mo, Co, Cu) и макроэлементов (K, Na, Ca, P, Mg). Листья ромена являются источником витаминов группы B (B₁, B₂, B₆, PP), аскорбиновой кислоты, филлохинона и лактуцина, который обладает седативным эффектом и укрепляет кровеносные сосуды [17].

Салат роман возделывается на территории Российской Федерации как в открытом, так и в защищенном грунте. В последнее время интерес к выращиванию растений в закрытых помещениях с искусственным освещением растет благодаря возможности получать продукцию круглогодично, с ресурсосбережением и экологической безопасностью высококачественной растительной продукции, а также сокращению периода культивирования на 40–50 % [12].

Световая среда является одним из важнейших факторов, влияющих на морфофизиологические параметры, продуктивность и биохимический состав растений [20]. Оптимизация световых параметров необходима для круглогодичного и эффективного выращивания сельскохозяйственных культур в закрытых помещениях [16]. Многоярусное производство растений в условиях ограниченного пространства требует использования источников света с малой теплоотдачей и высокой конверсией энергии в фотосинтетически активную радиацию (ФАР) [23]. Среди искусственных источников света светодиоды обладают рядом преимуществ по сравнению с существующими источниками искусственного освещения, такими как длительный срок службы, высокая эффективность преобразования электроэнергии, меньшее тепловыделение и низкая стоимость, а также они обеспечивают максимально высокую эффективность использования ФАР, позволяют оптимизировать фотопериод и уровень освещённости [5]. Это способствует снижению энергозатрат, увеличению биомассы и уменьшению накопления нитратов [12, 18]. Однако наиболее важным фактором для растениеводства защищенного грунта является то, что с помощью светодиодов путем сочетания разных длин волн и применения вторичной оптики можно формировать различные спектры освещения, обеспечивая оптимальное качество света в зависимости от вида растительной культуры и стадии ее роста [21].

Известно, что красный свет (КС) стимулирует образование биомассы зеленолистного салата, при этом его оптимальная доля в общем спектре находится в довольно широком диапазоне от 50 % до 80 % [24]. Выращивание салата роман при освещении

монохромным красным светом приводило к формированию наибольшей биомассы, но при этом содержание хлорофилла и аскорбиновой кислоты были самыми низкими [14]. Использование синего света (СС) обеспечивало высокие показатели качества растительной продукции, но на фоне сниженных показателей биомассы: с увеличением доли синего света растения салата растут медленнее, но количество биоактивных соединений в них, например, флавоноидов, увеличивается [10, 14, 22].

При монохроматическом свете дефицит отдельных длин волн может ухудшить развитие растений [8]. При выращивании салата роман в условиях искусственного освещения увеличение надземной массы и фотосинтетическая активность во многом определяются особенностями фотоморфогенеза, поэтому подбор смешанного света полного спектра, видоспецифично регулирующего формирование растений представляется наиболее эффективным путем развития светокультуры [13]. Помимо красного и синего спектров, которые являются наиболее эффективными спектрами для фотосинтеза, другие части спектра также играют функциональную роль в развитии растений [9]. Синергетическая эффективность комбинированного красного и синего света повышается при добавлении зеленого света (ЗС), что может быть связано с его высокой проникающей способностью через листовую поверхность и наличием поглощающих данный диапазон пигментов – фитохромов и криптохромов [7, 11].

Показано, что комбинированное использование красных, синих и белых светодиодов оказывает положительный эффект на рост, развитие, товарный вид и вкусовые качества растений салата [15]. Салат роман, выращенный в условиях смешанного освещения по сравнению с монохроматическим, продемонстрировал наибольший рост общей биомассы побегов, при этом увеличение доли синего света приводило к получению более низкорослых растений с более высокой концентрацией питательных веществ [19]. При сравнении влияния полноспектрального белого света с повышенным содержанием красного (53 % КС : 7 % СС) и синего (23 % КС : 34 % СС) выявлена высокая эффективность использования освещения с высокой долей красного света для увеличения биомассы салата, связанная с низким уровнем темнового дыхания; и возрастание циклических потоков электронов и содержания фотосинтетических пигментов при освещении с высокой долей синего света [25].

На основании проведенного анализа литературы выдвинута гипотеза, что наиболее оптимальным с точки зрения функционального влияния на растительные культуры является формирование спектрального состава света, близкого к солнечному освещению, содержащему в себе все функциональные длины волн – как для работы фотосинтетического аппарата с максимумами поглощения света в синей

и красной областях спектра, так и для реализации вторичных процессов – от аккумулирования энергии до активации защитных механизмов в растениях.

Цель исследований

Изучить влияние спектрального состава световой среды, моделирующей естественное освещение с учетом суточных особенностей распространения солнечных лучей, на динамику развития и формирование морфометрических показателей листового салата.

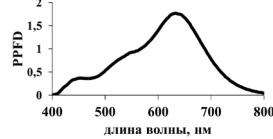
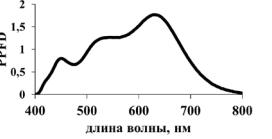
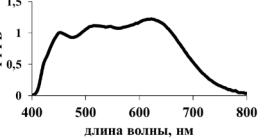
Материалы и методы

Агробиологические испытания проводили в регулируемых условиях агробиополигона ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург, Россия) [3]. Растения салата ромен (*Lactuca sativa L. var. Romana*) сорта Баллон (АО ССПП «Сортсемовоощь», Россия) выращивали в контролируемых условиях интенсивной светокультуры. Салат высевали сухими семенами в промышленные пластиковые емкости объемом 440 см³. Плотность посева составляла 51 растение/м². В качестве корнеобитающей среды использовали грунт (рН=6,2) на основе верхового торфа низкой степени разложения с минеральными добавками (Агробалт С, ООО «Пиндструп», Московская область, Россия). Температура воздуха поддерживалась в пределах 20–22 °С днем и 18–20 °С ночью, относительная влажность воздуха – 65–70 %. Полив осуществляли ежедневно, чередуя с подкор-

мками раствором Кнопа (три раза в неделю), влажность грунта поддерживали на уровне 60–70 % относительно полной влагоемкости.

В качестве источников света использовали светодиодные светильники (ФГБНУ АФИ, Россия), имитирующие солнечное освещение в различное время суток [2]. Продолжительность светового периода составляла 14 часов в сутки. Были реализованы следующие варианты световой среды с различными спектрами излучения при одинаковой плотности фотосинтетического потока фотонов PPFD (photosynthetic photon flux density) (табл. 1): 1) АФИ-3000 – светодиодные светильники со спектральным составом в видимой области, приближенным к естественному свету, когда солнце находится у горизонта, 2) АФИ-4000 – с наиболее нейтральным освещением, приближенным к дневному послеполуденному освещению, 3) АФИ-5000 – со спектром близким к солнечному свету в полдень. Светильники созданы на базе светодиодов нового поколения, покрытых трёхкомпонентным люминофором. Источник света АФИ-3000 характеризуется наличием наибольшей доли красного света в спектре – соотношение синего к зеленому к красному диапазонам для него составляет 1:3:5, для АФИ-4000-1:2:2, для АФИ-5000-1:1,5:1,5.

Таблица 1. Характеристики используемых светодиодных светильников

Характеристика	Светодиодный светильник		
	АФИ-3000	АФИ-4000	АФИ-5000
Вид светильника			
Спектр излучения			
Облученность, Вт/м ²	71,7±4,7	71,0±5,4	73,5±5,2
PPFD в области 400–700 нм, $\mu\text{моль}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$	323±21	314±24	320±23
PPFD в синей области (400–500 нм)	$\mu\text{моль}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ 34±2	59±5	79±6
	% от PPFD ₄₀₀₋₇₀₀ 11	19	25
PPFD в зеленой области (500–600 нм)	$\mu\text{моль}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ 113±7	119±9	121±9
	% от PPFD ₄₀₀₋₇₀₀ 35	38	38

Продолжение таблицы 1

PPFD в красной области (600-700 нм)	μмоль/ (м ² ·с)	176±11	136±10	120±9
	% от PPFD ₄₀₀₋₇₀₀	54	43	37
Цветовая температура, К		3011	4156	5262
Индекс цветопередачи CRI, %		97,8	98,0	97,5

Измерения площади ассимилирующей поверхности и площади листьев проводили на протяжении всей вегетации в динамике роста салата ромен с использованием программного обеспечения Easy Leaf Area (Quantitative Plant, США) [6]. Изображение фиксировали с помощью камеры смартфона, расположенного на штативе на расстоянии 50 см от поверхности емкости для выращивания.

Относительный прирост (%) площади ассимилирующей поверхности листьев и высоты растения рассчитывали по формуле:

$$\Pi = (H-M) * 100 / K$$

где Π – прирост показателя, H – значение в день измерения, M – значение в предыдущий день измерения, K – конечный показатель при уборке.

На сороковые сутки от посева производили уборку растений, учитывали основные морфометрические показатели – высоту растения, диаметр розетки листьев, площадь листа, сырую массу, число листьев одного растения. Количество сухого вещества определяли высушиванием при температуре 105 °C, нитраты – ионометрическим методом в единицах мг на кг натуральной влаги (н.в.); проводили органолептический анализ по 5-й балльной шкале на основе слепого теста с 5-ю испытателями.

Размер оцениваемой выборки – 7 растений, повторность опыта двукратная. Статистическую оценку полученных данных проводили путем расчета основных описательных характеристик: среднего (M), стандартного отклонения, доверительного интервала,

стандартной ошибки среднего (SEM). Значение $p < 0,05$ (вероятность ошибки 5 %) считалось приемлемым пределом статистической значимости. Анализ данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel 2019 и Statistica v. 13.3 (StatSoft Inc., Талса, Оклахома, США).

Результаты и обсуждение

На протяжении вегетационного периода до достижения технической спелости регистрировали изменение площади ассимилирующей листовой поверхности (рис. 1а) и рассчитывали ее прирост (ежедневное увеличение листовой поверхности относительно конечного значения) (рис. 1б) в зависимости от использованного источника света. На начальных этапах развития растений динамика роста была схожей: до пятнадцатого дня прирост листовой поверхности составлял 0,1-0,3 % и 2-3 % на шестнадцатый – двадцать второй дни во всех исследованных вариантах. С двадцать третьего дня наблюдалось достоверное увеличение площади до 121 см² для варианта освещения AFI-5000 по сравнению со сформировавшимися 90 см² для AFI-3000 и 93 см² для AFI-4000. Интересно отметить волнобразную природу прироста листовой поверхности с полупериодом 6-8 дней, начиная с двадцать второго дня вегетации салата. В целом, увеличение площади листовой поверхности было более интенсивным и равномерным при использовании в качестве источника света светодиодного светильника AFI-5000 с увеличенной долей синего света (соотношение 25 % СС : 38 % ЗС : 37 % КС).

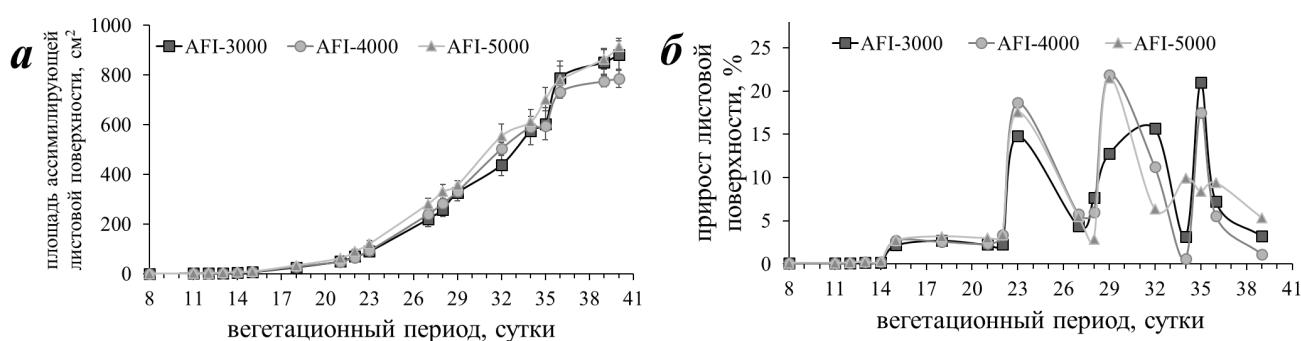


Рисунок 1. Динамика: а – увеличения площади ассимилирующей свет листовой поверхности, б – прироста листовой поверхности относительно конечного полученного значения, при культивировании растений в условиях интенсивной светокультуры при освещении источниками света с различным спектральным составом

На рисунке 2а представлено изменение высоты растений, 2в - прирост на протяжении вегетации салата ромен (рис. 2б) при выращивании под искусственными светодиодными источниками света с различным спектральным составом. Можно отметить, что на четырнадцатый – двадцать первый дни высота растений была выше для варианта освещения AFI-3000 с большей долей красного света в спектре

(соотношение 11 % СС:35 % ЗС:54 % КС) и составляла 5-7 см по сравнению с 4-6 см, формируемыми при облучении AFI-4000 и AFI-5000. На тридцать девятый – сороковой дни наибольшей высоты достигли растения варианта AFI-4000 с наиболее нейтральным освещением (соотношение 19 % СС:38 % ЗС:43 % КС).

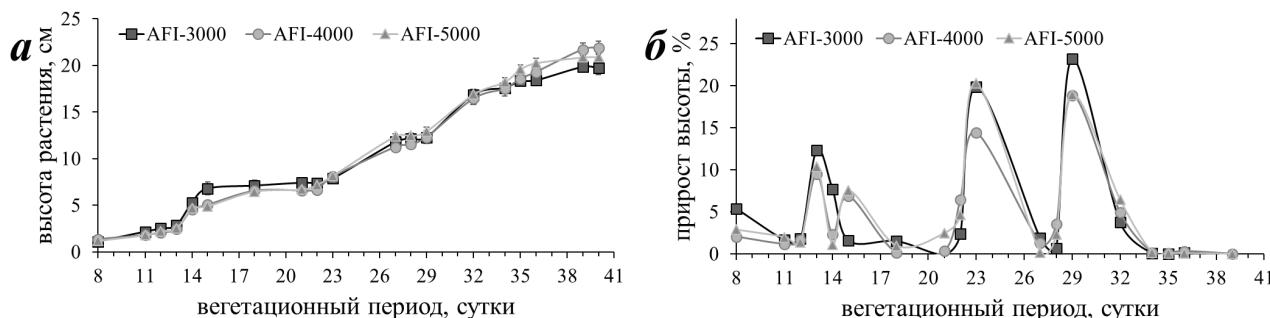


Рисунок 2. Динамика: а – высоты салата ромен, б – прироста относительно конечного полученного значения высоты растения при воздействии светодиодными светильниками с различным спектральным составом

Общий вид полученных растений салата ромен сорта Баллон при воздействии оригинальными светодиодными светильниками различного спектрального состава, имитирующими солнечное освещение в различное время суток, отображен на рисунке 3.

Визуально можно отметить различия в полученной биомассе салата – чем больше была доля синего света в спектре (AFI-3000<AFI-4000<AFI-5000), тем лучше развивались растения.



Рисунок 3. Общий вид экспериментальных вариантов культивирования салата ромен при освещении светодиодными светильниками, моделирующими естественный свет: AFI-3000 – когда солнце находится у горизонта, AFI-4000 – дневное послеполуденное освещение, AFI-5000 – солнечный свет в полдень

При достижении технической спелости и товарного вида у салата ромен регистрировали общие морфометрические показатели (табл. 2). Достоверных различий в полученных показателях высоты рас-

тений, диаметра розетки и количества листьев при освещении источниками света с различным спектральным составом отмечено не было. Отмечено достоверное увеличение сырой биомассы салата при

использовании источника света AFI-5000 на ~60 % и ~45 % относительно вариантов AFI-3000 и AFI-4000 соответственно. Средняя площадь листа была выше для вариантов AFI-4000 и AFI-5000, а площадь ассимилирующей листовой поверхности - для AFI-3000 и AFI-5000. В отношении биохимического состава наблюдалось достоверно более высокое накопление сухого вещества в листьях салата ромен при использовании в качестве источников света светильников AFI-5000. Полученная растительная про-

дукция соответствовала санитарно-гигиеническим нормативам РФ, не превышая ПДК нитратов (2000 мг/кг). Минимальная концентрация нитратов в растениях соответствовала максимальному содержанию сухого вещества, что свидетельствует о более эффективной редукции нитратов и использовании их в производственном процессе растений при выращивании под AFI-5000. Это согласуется с ранее полученными данными по влиянию освещенности на усвоение нитратного азота растениями [1].

Таблица 2. Морфометрические и биохимические показатели салата ромен при освещении растений в процессе вегетации источниками света с различным спектральным составом

Характеристика	Светодиодный светильник		
	AFI-3000	AFI-4000	AFI-5000
Высота растения, см	19,7±0,7a	21,9±0,7a	20,9±0,3a
Масса надземной части растения, г	103,3±6,7a	113,5±6,0a	164,0±11,6b
Диаметр розетки, см	27,3±0,9a	27,4±1,1a	27,3±1,3a
Количество листьев	14±1a	14±1a	15±1a
Площадь среднего типичного листа, см ²	309,7±12,8a	360,2±25,7b	352,6±24,0b
Площадь ассимилирующей поверхности, см ²	880,2±56,3a	784,8±34,3b	913,7±33,6a
Сухое вещество, %	4,83±0,39a	6,53±0,59b	8,01±0,56c
Нитраты, мг/кг н.в.	1672±100a	1964±98b	1560±140c

Примечание - в таблице приведены средние значения и стандартная ошибка среднего $M\pm SEM$. Средние значения с поочередными разными надстрочными знаками a,b,c в столбцах обозначают достоверно отличающиеся между собой варианты ($p < 0,05$)

Показано, что при использовании искусственного солнцеподобного спектра освещения сырья масса растений салата выше на 24 и 20 % по сравнению с использованием белого и красно-синего света, излучаемого светодиодными светильниками, а значения сухой массы и площади листьев схожи [9]. Сравнивая полученные результаты с литературными данными, можно отметить, что применение оригинального светодиодного светильника AFI-5000, имитирующего солнечный свет в полдень, позволяет получать в 3,6 раза больше сырой массы салата, чем при освеще-

нии солнцеподобными по спектру светодиодами, под которыми формируется 46 г салата [9].

Общая урожайность салата ромен составила 5,3±0,3 кг/м² для варианта AFI-3000, 5,8±0,3 кг/м² для AFI-4000 и 8,4±0,6 кг/м² для AFI-5000, что было достоверно выше относительно AFI-3000 на 60 % и AFI-4000 на 45 % (рис. 4). Важно отметить общую тенденцию к увеличению продуктивности растений салата ромен при увеличении доли синего света в спектре освещения в ряду используемых светодиодных светильников AFI-3000<AFI-4000<AFI-5000.

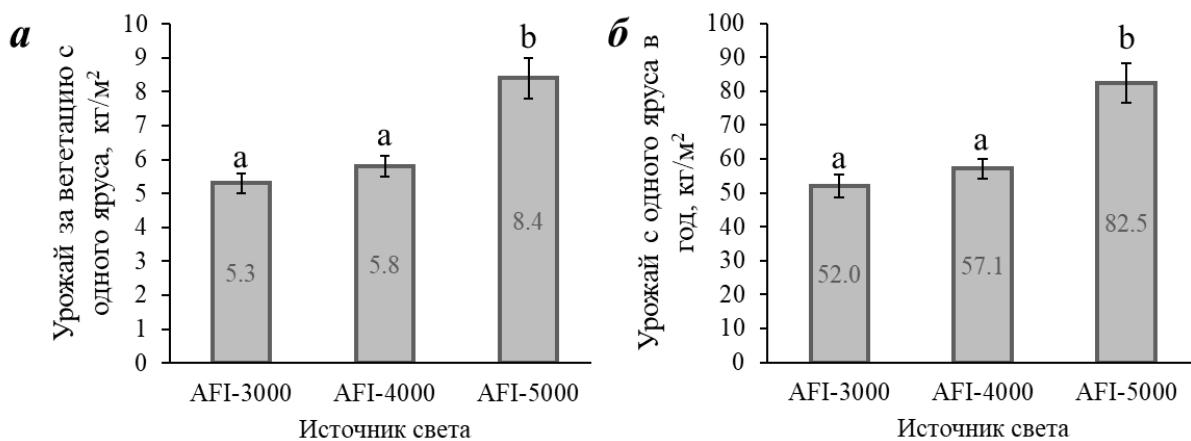


Рисунок 4. Урожайность салата ромен при выращивании в интенсивной светокультуре с использованием светодиодных светильников с различным спектральным составом:
а – с одного яруса за вегетацию, б – с одного яруса в год

Примечание - приведены средние значения и стандартная ошибка среднего $M \pm SEM$, значения с поочередными разными надстрочными знаками *a,b* обозначают достоверно отличающиеся между собой варианты ($p < 0,05$)

Проведенный органолептический анализ показал, что наилучшие вкус, внешний вид и текстура были характерны для салата ромен, освещаемого светодиодным светильником AFI-3000 (рис. 5). Эксперты отметили отсутствие горечи и насыщенный вкус для салата для варианта AFI-3000, слабую горечь для

AFI-4000 и выраженный, отличающийся сладковатый и слегка горький вкус для AFI-5000. Эти данные соотносятся с имеющимися в литературе – наивысшую оценку получал салат, освещаемым красным светом, при этом горечь была самой высокой при освещении светодиодами синего спектра [14].

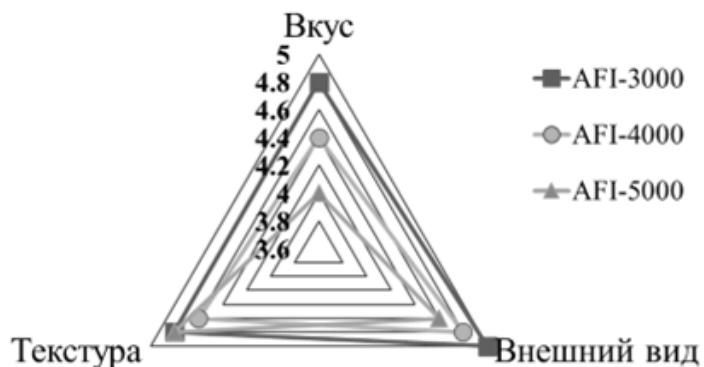


Рисунок 5. Усредненные показатели органолептических свойств салата ромен, выращенного под различными источниками света

Выводы

Таким образом, культивирование салата ромен в благоприятных, регулируемых условиях искусственного освещения, моделирующего естественные условия, является актуальным направлением для получения качественной растительной продукции в условиях городской среды или неблагоприятного климата. Сорт салата ромена «Баллон» по продуктивности и качеству пригоден для выращивания в условиях интенсивной светокультуры.

Показано, что салат ромен, выращенный с использованием светодиодных светильников AFI-5000 с большей долей синего света (соотношение

СС:ЗС:КС – 1:1,5:1,5) демонстрировал лучшую динамику нарастания площади ассимилирующей листовой поверхности и более высокие показатели урожайности – на 60 % больше варианта AFI-3000 (соотношение СС:ЗС:КС – 1:3:5) и на 45 % выше варианта AFI-4000 (соотношение СС:ЗС:КС – 1:2:2).

В целом, светодиодные светильники, имитирующие солнечный свет, можно рассматривать как перспективный, энергоэффективный ресурсосберегающей источник света для управляемого экологичного сельского хозяйства, в том числе для применения в черте города или территориально удаленных районах с неблагоприятным климатом.

Литература

1. Волкова, Е. Н. Изучение суточной динамики содержания нитратов в овощных культурах / Е. Н. Волкова, А. Э. Кудумс // Агрохимия. – 1996. – № 6. – С. 22-27.
2. Кулешова, Т. Э. Влияние спектрального состава световой среды на фотосинтетические, электро- и морфофизиологические показатели редиса в условиях светокультуры / Т. Э. Кулешова, П. В. Желначева, Е. М. Эзерина, В. Е. Вертебный, Ю. В. Хомяков, Г. Г. Панова, А. А. Кочетов, Н. Г. Синявина // Физиология растений. – 2024. – Т. 71. – № 2. – С. 243-256.
3. Панова, Г. Г. Основы физического моделирования «идеальных» агроэкосистем / Г. Г. Панова, О. Р. Удалова, Е. В. Канаш, А. С. Галушко, А. А. Кочетов, Н. С. Прияткин, М. В. Архипов, И. Н. Черноусов // Журнал технической физики. – 2020. – Т. 90. – № 10. – С. 1633-1639.
4. Старых, Г. А. Динамика изменения сортимента салата (*Lactuca sativa* L.) в условиях России и Беларуси / Г. А. Старых, Н. А. Хаустова, А. В. Гончаров, В. В. Скорина // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – Т. 3. – С. 104-107.
5. Bantis, F. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs) / F. Bantis, S. Smirnakou, T. Ouzounis, A. Koukounaras, N. Ntagkas, K. Radoglou // *Scientia horticulturae*. – 2018. – V. 235. – P. 437-451.
6. Easlon, H. M. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area / H. M. Easlon, A. J. Bloom // *Applications in plant sciences*. – 2014. – V. 2. – № 7. – P. 1400033.
7. Folta, K.M. Green light: A signal to slow down or stop / K.M. Folta, S.A. Maruhnich // *Journal of experimental botany*. – 2007. – V. 58. – № 12. – P. 3099-3111.
8. Izzo, L.G. Spectral effects of blue and red light on growth, anatomy, and physiology of lettuce / L.G. Izzo, M.A. Mickens, G. Aronne, C. Gómez // *Physiologia Plantarum*. – 2021. – V. 172. – № 4. – P. 2191-2202.
9. Jie, Z. O. U. The effect of artificial solar spectrum on growth of cucumber and lettuce under controlled environment / Z. O. U. Jie, X. U. Hong, Y. A. N. G. Qi-chang, L. I. Tao // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2020. – V. 19. – № 8. – P. 2027-2034.
10. Kang, W.H. Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs) / W.H. Kang, J.S. Park, K.S. Park, J.E. Son // *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. – 2016. – V. 57. – № 6. – P. 573-579.
11. Kim, H.-H. Green-light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth under Red- and Blue-light-emitting Diodes / H.-H. Kim, G.D. Goins, R.M. Wheeler, J.C. Sager // *HortScience*. – 2004. – V. 39. – № 7. – P. 1617-1622.
12. Kozai, T. Plant factory as a resource-efficient closed plant production system / T. Kozai, G. Niu // *Plant Factory*. – Academic Press, 2016. – P. 69-90.
13. Lee, J. H. Changes in spectral reflectance, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, and growth of mini green romaine lettuce according to various light qualities in indoor cultivation / J. H. Lee, Y. B. Kwon, I. L. Choi, H. S. Yoon, J. Kim, Y. Kim, H. M. Kang // *Horticulturae*. – 2024. – V. 10. – № 8. – P. 860.
14. Lee, J. H. Effect of various LED light qualities, including wide red spectrum-LED, on the growth and quality of mini red romaine lettuce (cv. Breen) / J. H. Lee, Y. B. Kwon, Y. H. Roh, I. L. Choi, J. Kim, Y. Kim, H. S. Yoon, H. M. Kang // *Plants*. – 2023. – V. 12. – № 10. – P. 2056.
15. Lin, K.-H. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) / K.-H. Lin, M.-Y. Huang, W.-D. Huang, M.-H. Hsu, Z. W. Yang, C. M. Yang // *Scientia Horticulturae*. – 2013. – V. 150. – P. 86-91.
16. Loconsole, D. Optimization of LED lighting and quality evaluation of Romaine Lettuce grown in an innovative indoor cultivation system / D. Loconsole, C. Cocetta, P. Santoro, A. Ferrante // *Sustainability*. – 2019. – V. 11. – № 3. – P. 841.
17. Martínez-Sánchez, A. Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce / A. Martínez-Sánchez, J. A. Tudela, C. Luna, A. Allende, M. I. Gil // *Postharvest Biology and Technology*. – 2011. – V. 59. – № 1. – P. 34-42.
18. Matysiak, B. Yield and quality of romaine lettuce at different daily light integral in an indoor controlled environment / B. Matysiak, E. Ropelewska, A. Wrzodak, A. Kowalski, S. Kaniszewski // *Agronomy*. – 2022. – V. 12. – № 5. – P. 1026.
19. Mickens, M. A. A strategic approach for investigating light recipes for 'Outredgeous' red romaine lettuce using white and monochromatic LEDs / M. A. Mickens, E. J. Skoog, L. E. Reese., P. L. Barnwell, L. E. Spencer, G. D. Massa, R. M. Wheeler // *Life Sciences in Space Research*. – 2018. – V. 19. – P. 53-62.
20. Shen, Y.Z. Effects of illuminants and illumination time on lettuce growth, yield and nutritional quality in a controlled environment / Y.Z. Shen, S.S. Guo, W.D. Ai, Y.K. Tang // *Life Sciences in Space Research*. – 2014. – V. 2. – P. 38-42.
21. Singh, D. LEDs for energy efficient greenhouse lighting / D. Singh, C. Basu, M. Meinhardt-Wollweber, B. Roth // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2015. – V. 49. – P. 139-147.

22. Son, K.H. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes / K.H. Son, M.M. Oh // HortScience. – 2013. – V. 48. – № 8. – P. 988-995.
23. van Iersel, M.W. Optimizing LED lighting in controlled environment agriculture / M.W. van Iersel // Light emitting diodes for agriculture: Smart lighting. – Singapore: Springer Singapore, 2017. – P. 59-80.
24. Wang, J. Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light / J. Wang, W. Lu, Y. Tong, Q. Yang // Frontiers in plant science. – 2016. – V. 7. – P. 250.

References

1. Volkova, E. N. Study of the Diurnal Dynamics of Nitrate Content in Vegetable Crops / E. N. Volkova, A. E. Kudums // Agricultural Chemistry. – 1996. – V 6. – P. 22-27.
2. Kuleshova, T. E. Influence of the Light Spectral Composition on Photosynthetic, Electro- and Morphophysiological Indicators of Small Radish in Conditions of Light Culture / T. E. Kuleshova, P. V. Zhelnacheva, E. M. Ezerina, V. E. Vertebny, Yu. V. Khomyakov, G. G. Panova, A. A. Kochetov, N. G. Sinyavina // Russian Journal of Plant Physiology. – 2024. – V. 71. – № 2. – P. 243-256.
3. Panova, G. G. Fundamentals of Physical Modeling of “Ideal” Agroecosystems / G. G. Panova, O. R. Udalova, E. V. Kanash, A. S. Galushko, A. A. Kochetov, N. S. Priyatkin, M. V. Arkhipov, I. N. Chernousov // Technical Physics. – 2020. – V. 90. – № 10. – P. 1633-1639.
4. Starykh, G. A. Dynamics of the *Lactuca sativa* L. Cultivar Range in Russia and Belarus / G. A. Starykh, N. A. Khaustova, A. V. Goncharov, V. V. Skorina // Vestnik of the Belarusian State Agricultural Academy. – 2017. – V. 3. – P. 104-107.
5. Bantis, F. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs) / F. Bantis, S. Smirnakou, T. Ouzounis, A. Koukounaras, N. Ntagkas, K. Radoglou // Scientia horticulturae. – 2018. – V. 235. – P. 437-451.
6. Easlon, H. M. Easy Leaf Area: Automated digital image analysis for rapid and accurate measurement of leaf area / H. M. Easlon, A. J. Bloom // Applications in plant sciences. – 2014. – V. 2. – №. 7. – P. 1400033.
7. Folta, K.M. Green light: A signal to slow down or stop / K.M. Folta, S.A. Maruhnich // Journal of experimental botany. – 2007. – V. 58. – № 12. – P. 3099-3111.
8. Izzo, L.G. Spectral effects of blue and red light on growth, anatomy, and physiology of lettuce / L.G. Izzo, M.A. Mickens, G. Aronne, C. Gómez // Physiologia Plantarum. – 2021. – V. 172. – № 4. – P. 2191-2202.
9. Jie, Z. O. U. The effect of artificial solar spectrum on growth of cucumber and lettuce under controlled environment / Z. O. U. Jie, X. U. Hong, Y. A. N. G. Qi-chang, L. I. Tao // Journal of Integrative Agriculture. – 2020. – V. 19. – № 8. – P. 2027-2034.
10. Kang, W.H. Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs) / W.H. Kang, J.S. Park, K.S. Park, J.E. Son // Horticulture, Environment, and Biotechnology. – 2016. – V. 57. – № 6. – P. 573-579.
11. Kim, H.-H. Green-light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth under Red- and Blue-light-emitting Diodes / H.-H. Kim, G.D. Goins, R.M. Wheeler, J.C. Sager // HortScience. – 2004. – V. 39. – № 7. – P. 1617-1622.
12. Kozai, T. Plant factory as a resource-efficient closed plant production system / T. Kozai, G. Niu // Plant Factory. – Academic Press, 2016. – P. 69-90.
13. Lee, J. H. Changes in spectral reflectance, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, and growth of mini green romaine lettuce according to various light qualities in indoor cultivation / J. H. Lee, Y. B. Kwon, I. L. Choi, H. S. Yoon, J. Kim, Y. Kim, H. M. Kang // Horticulturae. – 2024. – V. 10. – № 8. – P. 860.
14. Lee, J. H. Effect of various LED light qualities, including wide red spectrum-LED, on the growth and quality of mini red romaine lettuce (cv. Breen) / J. H. Lee, Y. B. Kwon, Y. H. Roh, I. L. Choi, J. Kim, Y. Kim, H. S. Yoon, H. M. Kang // Plants. – 2023. – V. 12. – №. 10. – P. 2056.
15. Lin, K.-H. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) / K.-H. Lin, M.-Y. Huang, W.-D. Huang, M.-H. Hsu, Z. W. Yang, C. M. Yang // Scientia Horticulturae. – 2013. – V. 150. – P. 86-91.
16. Loconsole, D. Optimization of LED lighting and quality evaluation of Romaine Lettuce grown in an innovative indoor cultivation system / D. Loconsole, C. Cocetta, P. Santoro, A. Ferrante // Sustainability. – 2019. – V. 11. – № 3. – P. 841.
17. Martínez-Sánchez, A. Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce / A. Martínez-Sánchez, J. A. Tudela, C. Luna, A. Allende, M. I. Gil // Postharvest Biology and Technology. – 2011. – V. 59. – № 1. – P. 34-42.
18. Matysiak, B. Yield and quality of romaine lettuce at different daily light integral in an indoor controlled

- environment / B. Matysiak, E. Ropelewska, A. Wrzodak, A. Kowalski, S. Kaniszewski // Agronomy. – 2022. – V. 12. – №. 5. – P. 1026.
19. Mickens, M. A. A strategic approach for investigating light recipes for 'Outredgeous' red romaine lettuce using white and monochromatic LEDs / M. A. Mickens, E. J. Skoog, L. E Reese., P. L. Barnwell, L. E. Spencer, G. D. Massa, R. M. Wheeler // Life Sciences in Space Research. – 2018. – V. 19. – P. 53-62.
20. Shen, Y.Z. Effects of illuminants and illumination time on lettuce growth, yield and nutritional quality in a controlled environment / Y.Z. Shen, S.S. Guo, W.D. Ai, Y.K. Tang // Life Sciences in Space Research. – 2014. – V. 2. – P. 38-42.
21. Singh, D. LEDs for energy efficient greenhouse lighting / D. Singh, C. Basu, M. Meinhardt-Wollweber, B. Roth // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – V. 49. – P. 139-147.
22. Son, K.H. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes / K.H. Son, M.M. Oh // HortScience. – 2013. – V. 48. – №. 8. – P. 988-995.
23. van Iersel, M.W. Optimizing LED lighting in controlled environment agriculture / M.W. van Iersel // Light emitting diodes for agriculture: Smart lighting. – Singapore: Springer Singapore, 2017. – P. 59-80.
24. Wang, J. Leaf morphology, photosynthetic performance, chlorophyll fluorescence, stomatal development of lettuce (*Lactuca sativa* L.) exposed to different ratios of red light to blue light /J. Wang, W. Lu, Y. Tong, Q. Yang // Frontiers in plant science. – 2016. – V. 7. – P. 250.

Олег Андреевич Горшков

Стажер-исследователь лаборатории
экологической генетики и селекции растений
отдела светофизиологии растений и
биопродуктивности агроэкосистем
E-mail: o_gorshkov@agrophys.ru

Oleg Andreevich Gorshkov

Research Intern, Laboratory of Ecological
Genetics and Plant Breeding, Department of Plant
Lightphysiology and Agroecosystem Bioprotoductivity
Email: o_gorshkov@agrophys.ru

Елена Николаевна Волкова

Ведущий научный сотрудник лаборатории
регулируемых агроэкосистем отдела
светофизиологии растений и биопродуктивности
агроэкосистем
E-mail: ele-ven@yandex.ru

Elena Nikolaevna Volkova

Leading Researcher, Laboratory for Regulated
Agroecosystems, Department of Plant
Lightphysiology and Agroecosystem Bioprotoductivity
Email: ele-ven@yandex.ru

Марина Витальевна Спиридонова

Инженер лаборатории регулируемых
агроэкосистем отдела светофизиологии растений
и биопродуктивности агроэкосистем
E-mail: marin.spiri@yandex.ru

Marina Vitalievna Spiridonova

Engineer, Laboratory for Regulated Agroecosystems,
Department of Plant Lightphysiology and
Agroecosystem Bioprotoductivity
Email: marin.spiri@yandex.ru

Елизавета Михайловна Эзерина

Аспирант лаборатории экологической физиологии
и биофизики растений отдела светофизиологии
растений и биопродуктивности агроэкосистем
E-mail: lehzerina@yandex.ru

Elizaveta Mikhailovna Ezerina

Postgraduate Student, Laboratory of Ecological
Physiology and Plant Biophysics, Department of Plant
Lightphysiology and Agroecosystem Bioprotoductivity
Email: lehzerina@yandex.ru

Татьяна Эдуардовна Кулешова

Старший научный сотрудник лаборатории
регулируемых агроэкосистем отдела
светофизиологии растений и биопродуктивности
агроэкосистем
E-mail: www.piter.ru@bk.ru

Tatiana Eduardovna Kuleshova

Senior Researcher, Laboratory for Regulated
Agroecosystems, Department of Plant
Lightphysiology and Agroecosystem Bioprotoductivity
Email: www.piter.ru@bk.ru

Все: Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Агрофизический научно-
исследовательский институт»,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., д. 14

All: Agrophysical Research Institute,
14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220,
Russia

ОЦЕНКА ФОРМ КЛОНОВЫХ ПОДВОЕВ ЯБЛОНИ В КОЛЛЕКЦИОННОМ МАТОЧНИКЕ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Исследования по оценке клоновых подвоев яблони в коллекционном отводковом маточнике проводили в 2020-2024 гг. в ботаническом саду Удмуртского государственного университета. Цель исследования – хозяйствственно-биологическая оценка клоновых подвоев яблони при интродукции в условиях Удмуртской Республики и отбор лучших форм для повышения эффективности садоводства в регионе. Объектами исследования стали клоновые подвои яблони селекции Оренбургской ОССиВ: Урал 2, Урал 3, Урал 5 и селекции Ботанического сада Оренбургского государственного университета:OB-2-4, OB-2-15. По силе роста изучаемые подвои классифицируются как карликовые – OB-2-4, полукарликовые – Урал 2, Урал 3, Урал 5, OB-2-15. Для проведения исследований применялись стандартные методики, широко освещенные в научной литературе. Проведена оценка следующих параметров: степени вызревания отводков, высоты, диаметра, ветвления, укоренения и общего числа отводков. Исследования выявили, что изучаемые формы клоновых подвоев обладают высокими адаптационными свойствами к неблагоприятным условиям Удмуртии и Среднего Предуралья в целом. Визуальная оценка состояния подвоев после перезимовки показала, что имеется подмерзание невызревших частей отдельных побегов текущего года (не более 10 % от длины побегов). В целом изучаемые подвои характеризовались высокой сохранностью и хорошим отрастанием весной. Оценка ряда хозяйствственно-биологических признаков показала, что отводки характеризуются высокими показателями, что подтверждает перспективность их культивирования и необходимость дальнейшего изучения в сортово-подвойных комбинациях. По результатам исследования все подвои можно рекомендовать для дальнейшего испытания в маточнике конкурсного испытания и питомнике.

Ключевые слова: интродукция, яблоня, клоновые подвои, маточник, вегетативное размножение, отводки.

EVALUATION OF FORMS OF CLONAL APPLE ROOTSTOCKS IN A COLLECTION MOTHER PLANTATION IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE URALS

Research on evaluation of clonal apple rootstocks in a collection layered mother plantation was conducted from 2020 to 2024 at the Botanical Garden of Udmurt State University. The aim of the research was the economic and biological evaluation of clonal apple rootstocks during their introduction to the conditions of the Udmurt Republic and the selection of the best forms to improve the efficiency of horticulture in the region. The objects of the study were clonal apple rootstocks bred by the Orenburg OSSiV: Ural 2, Ural 3, Ural 5 and bred by the Botanical Garden of Orenburg State University: OB-2-4 and OB-2-15. Based on growth vigor, the studied rootstocks are classified as dwarf – OB-2-4 and semi-dwarf – Ural 2, Ural 3, Ural 5, OB-2-15. Standard methods widely covered in the scientific literature were used for the research. The following parameters were evaluated: layer maturity, layer height, layer diameter, layer branching, layer rooting, and the total number of layers. The studies demonstrated that the clonal rootstocks studied exhibit high adaptability to the unfavorable conditions of Udmurtia and the Middle Urals region as a whole. A visual assessment of the rootstocks' condition after overwintering revealed freezing of immature portions of individual shoots from the current year (no more than 10 % of shoot length). Overall, the rootstocks studied demonstrated high survival rates and good spring regrowth. An assessment of a number of agronomic and biological traits revealed that the layers can be characterized by high performance characteristics, demonstrating the potential for their cultivation and proving the need for further study in cultivar-rootstock combinations. Based on the study results, all the rootstocks studied can be recommended for further testing in the competitive trial mother plantation and in the nursery.

Key words: introduction, apple tree, clonal rootstocks, mother plant, vegetative propagation, layers.

Введение

В современном садоводстве большое внимание уделяется зональной специализации производства плодовой продукции, которая основывается на соответствии биологических свойств сортов и подвоев с максимальным раскрытием биологического потенциала сортово-подвойных комбинаций плодовых культур.

Яблоня является ведущей плодовой культурой в России. Требования к качеству плодовой продукции, особенно яблок, постоянно повышаются.

Интенсификация садоводства подразумевает внедрение современных технологий, позволяющих повысить продуктивность садов и сократить сроки возврата инвестиций [3, 4, 7]. Одним из важнейших

элементов интенсификации является использование клоновых подвоев яблони, которые обладают рядом преимуществ: относительно высокую зимостойкость, засухоустойчивость, легкость размножения и хорошую совместимость с прививаемыми сортами. Это позволяет создавать интенсивные сады, обладающие следующими характеристиками: скороплодностью, высокой урожайностью, высоким качеством плодов, сниженными затратами на сбор урожая и обрезку; более быстрой окупаемостью капитальных вложений по сравнению с экстенсивными садами [5, 9, 10].

Ассортимент клоновых подвоев яблони представлен как формами иностранной, так и формами отечественной селекции и ежегодно пополняется. Одним из пионеров в области селекции клоновых подвоев является Мичуринский государственный аграрный университет. Результатом многолетней селекционной работы В.И. Будаговского и его последователей стало создание подвоев, зарекомендовавших себя при создании зимостойких яблоневых садов как в России, так и за рубежом [2, 12, 14]. Позже в работу по селекции включились и другие научные учреждения, в частности Оренбургская опытная станция садоводства и виноградарства, ботанический сад Оренбургского государственного университета. В результате их работы созданы формы, обладающие широкой экологической амплитудой, благодаря богатой наследственной структуры, сочетающей в себе устойчивость к различным неблагоприятным факторам. Это позволило создать клоновые подвои яблони с зимостойкостью корневой системы (до -16°C ... -18°C), что позволяет закладывать интенсивные сады в регионах России, ранее не пригодных для промышленного плодоводства, в частности в Удмуртии, относящейся к зоне северного садоводства [8].

Одной из ключевых характеристик новых форм клоновых подвоев является способность к вегетативному размножению [3, 11, 13]. Для оценки этой способности был создан отводковый маточник клоновых подвоев яблони. Исследование проводили в Удмуртии, где большинство форм ранее не изучалось.

Цель исследований

Оценить по ряду хозяйствственно-биологических признаков клоновые подвои яблони при интродукции в условиях Удмуртской Республики и отобрать лучшие формы для повышения эффективности садоводства в регионе.

Материалы и методы

Исследования по оценке клоновых подвоев яблони в коллекционном отводковом маточнике проводили в 2020-2024 гг. в ботаническом саду Удмуртского государственного университета (БС УдГУ), г. Ижевск, Удмуртская Республика.

Закладка маточника клоновых подвоев яблони проведена в мае 2020 г. Тип маточника – вертикаль-

ный отводковый. Схема посадки клоновых подвоев яблони – 1,5 x 0,75 м.

Объектами исследования стали клоновые подвои яблони селекции Оренбургской ОССиВ: Урал 2, Урал 3, Урал 5 и селекции Ботанического сада Оренбургского государственного университета: ОБ-2-4, ОБ-2-15. По силе роста изучаемые подвои классифицируются как карликовые – ОБ-2-4, полукарликовые – Урал 2, Урал 3, Урал 5, ОБ-2-15.

Исследования и обработку данных проводили согласно программе и методике сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур [6]. Проводили следующие учеты и наблюдения. Степень вызревания отводков определяли по 5-й балльной шкале: 1 – рост продолжается; 2 – рост прекратился, но верхушки побегов на значительном протяжении имеют травянистое состояние; 3 – рост прекратился, но верхушки побегов имеют травянистое состояние на небольшую длину (2-3 междуузлия); 4 – верхушечные почки слабо сформировались, верхушки побегов не достигли полного одревеснения; 5 – рост прекратился, верхушечные почки оформились, побеги вызрели. Определяли высоту и диаметр, см. Ветвление отводков – по 3-й балльной шкале: 1 – неразветвленные отводки; 2 – среднеразветвленные отводки; 3 – сильноразветвленные отводки (5 и больше ответвлений). Укоренение отводков – по 5-балльной шкале: 1 – на отводках нет корней; 2 – укоренение неудовлетворительное (1-2 слабых корешка или только зачатки); 3 – укоренение удовлетворительное (3-4 больших корешка или несколько корешков отходящих от стебля); 4 – укоренение хорошее (на отводке много крупных и мелких корней); 5 – укоренение очень хорошее (от отводка отходит очень много густо расположенных крупных и мелких корней). Подсчитывали общее число отводков.

Результаты и обсуждение

Одним из факторов, ограничивающих распространение и успешность культивирования клоновых подвоев яблони в Среднем Предуралье, является недостаточная зимостойкость, которая связана как с биологическими и экологическими характеристиками самих растений, так и с климатическими условиями района интродукции. Зачастую наблюдается повреждение побегов и корней плодовых и ягодных культур морозами в начале холодного периода при отсутствии или малой толщине снежного покрова. В ходе проведения многолетних научных исследований, изучаемые подвои показали высокую сохранность (100 %) и хорошее отрастание маточных кустов весной, что указывает на их высокий адаптационный потенциал к нестабильным и суровым условиям Удмуртии. Метеорологические условия холодного периода 2020-2024 гг. приведены в таблице 1.

Таблица 1. Метеорологические условия в холодный период, 2020-2024 гг.

Период	Температура, °C				
	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март
2020/2021	-4,6/-18,7	-11,6/-22,9	-11,5/-29,5	-17,1/-33,6	-5,5/-23,2
2021/2022	-2,3/-16,6	-10,3/-28,6	-11,1/-23,8	-4,4/-14,1	-6,5/-24,8
2022/2023	-4,7/-18,1	-10,3/-27,2	-12,7/-35,2	-8,9/-22,7	-0,5/-20,6
2023/2024	-1,8/-17,6	-12,0/-37,1	-14,4/-34,3	-10,9/-28,1	-1,8/-15,5

По результатам многолетней визуальной оценки отмечено подмерзание невызревших частей отдельных побегов текущего года (не более 10 % от длины побегов), что свидетельствует о высокой морозостойкости, зимостойкости и устойчивости к поздне-весенним и раннеосенним заморозкам.

В первой декаде октября (конец вегетационного периода) было проведено разокучивание маточных кустов и отделение отводков (рис. 1).

После отделения отводков оценивали рост и развитие их надземной части. Средние биометрические показатели развития надземной части отводков клоновых подвоев яблони представлены в таблице 2.

**Рисунок 1. Внешний вид маточных кустов после разокучивания****Таблица 2. Биометрические показатели отводков клоновых подвоев яблони, 2022-2024 гг.**

Подвой	Количество отводков, шт.	Степень вызревания, балл	Высота, см	Диаметр, мм	Ветвление, балл	Укоренение, балл
Урал 2	8,2±0,9	4,8±0,1	57,2±3,6	6,2±0,4	2,0±0,1	3,9±0,1
Урал 3	9,0±0,9	2,7±0,4	84,4±7,2	7,4±0,4	1,9±0,2	3,3±0,3

Продолжение таблицы 2

Урал 5	8,5±1,0	3,8±0,2	87,8±3,8	7,8±0,4	2,0±0,1	3,9±0,2
ОБ-2-4	5,8±0,7	4,9±0,1	80,0±4,0	8,4±0,7	2,1±0,2	3,2±0,3
ОБ-2-15	9,7±1,2	4,1±0,3	74,1±5,2	5,8±0,5	2,2±0,3	3,3±0,6

Анализ данных, представленных в таблице, показал, что общий выход отводков всех сортов составил 5,8-9,7 шт. с маточного куста, при этом наибольшим выходом отводков характеризуется ОБ-2-15, наименьшим - ОБ-2-4.

Установлено, что степень укоренения отводков у большинства форм клоновых подвоев была достаточно высокой (3,2-3,9 балла). Наименьшая степень укоренения отводков отмечена у подвоя ОБ-2-4 – 3,2 балла, наибольшая – Урал 2 – 3,9 балла (рис. 2).



Рисунок 2. Укорененные отводки: слева – ОБ-2-4, справа – Урал 2

Высота отводков сильно варьировала – 57,2-87,8 см. Наиболее высокие отводки сформировал клоновый подвой Урал 5. Наименьшей высотой характеризовались отводки подвоя Урал 2. Степень вызревания варьировала от 2,7 баллов у подвоя Урал 3 до 4,9 балла у формы подвоя ОБ-2-4.

Отрицательным качеством клоновых подвоев яблони, которое усложняет проведение технологи-

ческих операций в питомнике, является обрастане отводков преждевременными побегами, характеризующее степень ветвления, определяемую биологическими особенностями подвоя. Наиболее слабым ветвлением отводков характеризовался подвой Урал 3 – 1,9 балла. Наиболее сильное обрастане преждевременными побегами наблюдалось на клоновом подвое ОБ-2-15 (2,2 балла) (рис.3).



Рисунок 3. Обрастание побегами отводков: слева – Урал 3, справа – ОБ-2-15

Выводы

По результатам проведенных в коллекционном маточнике исследований можно сделать вывод о том, что изучаемые формы клоновых подвоев обладают высокими адаптационными свойствами в неблагоприятных условиях Удмуртии и Среднего Предуралья в целом. Оценка ряда хозяйствственно-биологических признаков показала, что отводки характеризуются

высокими показателями, которые демонстрируют перспективность их культивирования и доказывают необходимость дальнейшего изучения в сорт-подвойных комбинациях с районированными высоко-продуктивными сортами яблонь. По результатам исследования все подвои можно рекомендовать для дальнейшего изучения в маточнике конкурсного испытания и питомнике.

Литература

1. Будаговский, В.И. Отдаленная гибридизация при селекции подвоев яблони / В.И. Будаговский // Селекция и технология выращивания плодовых культур: Научные труды ВАСХНИЛ. – М: Колос, 1978. – С. 84-88.
2. Верзилин, А.В. Селекция зимостойких слаборослых клоновых подвоев яблони в Мичуринском государственном аграрном университете / А.В. Верзилин, Н.В. Верзилина // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИС им. И. В. Мичурина (1931-2001 гг.). – Тамбов: Издательство ГПТУ, 2001. – Т. 1. – С. 224-228.
3. Муханин, В.Г. О проблемах перевода отечественного садоводства на интенсивный путь / В.Г. Муханин, И.В. Муханин, Л.В. Григорьева // Садоводство и виноградарство. – М., 2001. – № 1. – С. 2-4.
4. Нигматянов, М.М. Клоновые подвои яблони на Южном Урале / М.М. Нигматянов, Е.З.Савин // Развитие научного наследия И.В. Мичурина по генетике и селекции плодовых культур: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 155-летию со дня рождения И.В. Мичурина. – Мичуринск, 2010. – С. 238-246.
5. Потапов, В.И. Слаборослый интенсивный сад / В.И. Потапов, А.С. Ульянищев, Ю.В. Крысанов и др. – М: Росагропромиздат, 1991. – 221 с.
6. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под. ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. – Орел: Издательство Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур, 1999. – С. 34-47.
7. Соломатин, Н.М. Результаты и перспективы селекции зимостойких слаборослых клоновых подво-

ев яблони в Мичуринском государственном аграрном университете. / Н.М. Соломатин, Р.В. Папихин, Н.Л. Чурикова и др. // Актуальные проблемы интенсификации плодоводства в современных условиях: материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора Аркадия Сергеевича Девятова и 90-летию со дня рождения кандидата биологических наук Виктора Никифоровича Балобина. – Самохваловичи, 2013. – С. 130-133.

8. Соломатин, Н.М. Селекция зимостойких клоновых подвоев яблони в МичГАУ / Н.М. Соломатин, Ю.В. Трунов // Актуальные проблемы садоводства в России и пути их решения: материалы Всероссийской научно-методической конференции молодых ученых. – Орел: ВНИИСПК, 2007. – С. 105-108.

9. Трунов, Ю.В. Плодоводство / Ю.В. Трунов, Е.Г. Самощенков, Т.И. Дорошенко и др. – М.: КолосС, 2012. – С. 311-324.

10. Kosina, J. Effect of dwarfing and semi dwarfing apple rootstocks on growth and productivity of selected apple cultivars / J. Kosina // Hort. Sci. (Prague). – 2010. – V. 37. – № 4. – P. 121-126.

11. Slowinski, A. Numerical compilation of orchard trial results on apple rootstocks / A. Slowinski // Agricultural University. – Warsaw, 2001. – 81 p.

12. Univer, N. Effect of Rootstocks on Growth and Yield of Four Apple Cultivars in Young Orchard / N. Univer, T. Univer, K. Tiirmaa // Scientific works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. – 2006. – № 25 (3). – P. 192-198.

13. Weber, M.S. Optimizing the tree density in apple orchards on dwarf rootstocks / M.S. Weber // Acta Hort. – 2001. – № 557. – P. 229-234.

14. Wrona, D. Comparison of 18 rootstocks for apple tree cv. Elise in V. planting system / D. Wrona, A. Sadowski // Scientific works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. – 2006. – № 25 (3). – P. 144-150.

References

1. Budagovsky, V.I. Remote hybridization in the breeding of apple rootstocks / V.I. Budagovsky // Breeding and technology of growing fruit crops: Scientific works of VASKhNIL. – M: Kolos, 1978. – P. 84-88.
2. Verzilin, A.V. Breeding of winter-hardy dwarf clonal apple rootstocks at Michurinsk State Agrarian University / A.V. Verzilin, N.V. Verzilina // Main results and prospects of scientific research at VNIIS named after I.V. Michurin (1931-2001). – Tambov: Publishing house of GTTU, 2001. – V. 1. – P. 224-228.
3. Mukhanin, V.G. On the problems of transferring domestic horticulture to an intensive path / V.G. Mukhanin, I.V. Mukhanin, L.V. Grigorieva // Gardening and Viticulture. – M., 2001. – № 1. – P. 2-4.
4. Nigmatyanov, M.M. Clonal apple rootstocks in the Southern Urals / M.M. Nigmatyanov, E.Z. Savin // Development of the scientific heritage of I.V. Michurin in genetics and breeding of fruit crops: materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 155th anniversary of the birth of I.V. Michurin. – Michurinsk, 2010. – P. 238-246.
5. Potapov, V.I. Low-growing intensive orchard / V.I. Potapov, A.S. Ulyanishchev, Yu.V. Krysanov et al. – M: Rosagropromizdat, 1991. – 221 p.
6. Program and methods for variety study of fruit, berry, and nut crops / Under editorship of E. N. Sedov, T. P. Ogoltsova. – Orel: Publishing House of the All-Russian Research Institute for Fruit Crop Breeding, 1999. – P. 34-47.
7. Solomatin, N. M. Results and prospects for breeding winter-hardy dwarf clonal apple rootstocks at Michurinsk State Agrarian University. / N. M. Solomatin, R. V. Papikhin, N. L. Churikova et al. // Actual problems of intensification of fruit growing in modern conditions: proceedings of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Doctor of Agricultural Sciences, Professor Arkady Sergeevich Devyatov and the 90th anniversary of the birth of Candidate of Biological Sciences Viktor Nikiforovich Balobin. – Samokhvalovich, 2013. – P. 130-133.
8. Solomatin, N.M. Breeding of winter-hardy clonal apple rootstocks in MichSAU / N.M. Solomatin, Yu.V. Trunov // Actual problems of horticulture in Russia and ways of their solution: proceedings of the All-Russian scientific and methodological conference of young scientists. – Orel: VNIISPK, 2007. – P. 105-108.
9. Trunov, Yu.V. Fruit growing / Yu.V. Trunov, E.G. Samoshchenkov, T.I. Doroshenko et al. – M.: KolosS, 2012. – P. 311-324.
10. Kosina, J. Effect of dwarfing and semi dwarfing apple rootstocks on growth and productivity of selected apple cultivars / J. Kosina // Hort. Sci. (Prague). – 2010. – V. 37. – № 4. – P. 121-126.
11. Slowinski, A. Numerical compilation of orchard trial results on apple rootstocks / A. Slowinski // Agricultural University. – Warsaw, 2001. – 81 p.
12. Univer, N. Effect of Rootstocks on Growth and Yield of Four Apple Cultivars in Young Orchard / N. Univer, T. Univer, K. Tiirmaa // Scientific works of the Lithuanian Institute of Horticulture and Lithuanian University of Agriculture. – 2006. – № 25 (3). – P. 192-198.

13. Weber, M.S. Optimizing the tree density in apple orchards on dwarf rootstocks / M.S. Weber //Acta Hort. – 2001. – № 557. – P. 229-234.

14. Wrona, D. Comparison of 18 rootstocks for apple trees cv. Elise in V. planting system / D. Wrona, A. Sadowski // Scientific works of the Lithwanian Institute of Horticulture and Lithwanian University of Agriculture. – 2006. – № 25 (3). – P. 144-150.

Денис Александрович Зорин

Старший научный сотрудник отдела интродукции и
акклиматизации растений
E-mail: zor-d@udman.ru

ФГБУН «Удмуртский федеральный
исследовательский центр УрО РАН»
426067, г. Ижевск, ул .Т. Барамзиной, 34

Denis Aleksandrovich Zorin

Senior Researcher of the Department of Plant
Introduction and Acclimatization,
E-mail: zor-d@udman.ru

FSBIS «Udmurt Federal Research Center of the Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences»
426067, Izhevsk, st. Baramzina, 34

ВЛИЯНИЕ ЙОДИСТОГО КАЛИЯ НА ПОРАЖЕНИЕ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ КОРНЕВЫМИ ГНИЛЯМИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Корневые гнили относятся к числу основных заболеваний ярового ячменя на Северо-Западе России, сильное проявление которых случается в условиях нарушения агротехники и несоблюдения севооборотов. Поиском альтернативных способов защиты культуры от этого заболевания в рамках решения проблемы йододефицита обусловлена цель исследований, которая заключалась в оценке влияния обработки семян йодистым калием как в чистом виде, так и совместно с химическим фунгицидом на поражение ярового ячменя корневыми гнилями. Исследования проводились в период 2024-2025 гг. на экспериментальной базе Меньковского филиала Агрофизического НИИ, расположенного в Гатчинском районе Ленинградской области. Схема опыта включала варианты с предпосевной обработкой семян ячменя йодистым калием в разных концентрациях (0,01, 0,03 и 0,05 %), химическим протравителем Кинто Плюс, КС (1,2 л/т) в чистом виде и совместно с йодистым калием (1,2 л/т + 0,05 %). По результатам исследований определено, что в зависимости от концентрации раствора данного микроудобрения развитие корневых гнилей снижалось на 16,5-30,0 % (кущение), 7,3-21,9 % (выход в трубку), 6,8-14,9 % (колошение) и по мере роста и развития ячменя защитный эффект ослабевал. Хозяйственный эффект от применения йодистого калия выражался величиной прибавки урожая ячменя равной 3,1-8,2 г/м² (3,2-8,5 %). Совместное применение фунгицида и йодистого калия не обеспечивало повышения биологической и хозяйственной эффективности по сравнению с обработкой семян химическим протравителем в чистом виде, но и не приводило к достоверному снижению показателей, которое возможно вследствие отрицательной совместимости данных агрохимикатов.

Ключевые слова: яровой ячмень, корневые гнили, йодистый калий, обработка семян, защитный эффект, хозяйственная эффективность.

EFFECT OF POTASSIUM IODIDE ON THE SPRING BARLEY DAMAGE BY ROOT ROT IN THE CONDITIONS OF NORTH-WEST RUSSIA

Root rot is one of the main diseases affecting spring barley in northwestern Russia, with severe outbreaks occurring under poor agricultural practices and crop rotation. The search for alternative methods to protect the crop from this disease, as part of addressing iodine deficiency, motivated the study's objective. This study assessed the effects of potassium iodide seed treatment, both alone and in combination with a chemical fungicide, on spring barley root rot. The research was conducted between 2024 and 2025 at the experimental base of the Menkovo branch of the Agrophysical Research Institute, located in the Gatchina District of the Leningrad Region. The experimental design included pre-sowing treatment of barley seeds with potassium iodide at various concentrations (0.01, 0.03, and 0.05 %), the chemical seed treatment agent Kinto Plus, KS (1.2 l/t) alone, and in combination with potassium iodide (1.2 l/t + 0.05 %). Based on the research results, it was determined that depending on the concentration of the solution of this microfertilizer, the development of root rot was reduced by 16.5-30.0 % (tillering), 7.3-21.9 % (booting), 6.8-14.9 % (heading), and as the barley grew and developed, the protective effect weakened. The economic effect of the use of potassium iodide was expressed as an increase in the barley yield of 3.1-8.2 gram / square meter (3.2-8.5 %). The combined use of the fungicide and potassium iodide did not ensure an increase in biological and economic efficiency, in comparison with seed treatment with a chemical seed treatment agent in its pure form, but also did not lead to a reliable decrease in these indicators, possible due to the negative compatibility of these agrochemicals.

Key words: spring barley, root rot, potassium iodide, seed treatment, protective effect, economic efficiency.

Введение

Ячмень является основной зернофуражной культурой на Северо-Западе России, где занимает около 40 % посевых площадей от всех зерновых [1]. Сложная фитосанитарная обстановка - один из главных факторов, лимитирующих получение высоких урожаев этой культуры. При этом корневые гнили при грамотном землепользовании, включающем соблюдение агротехники и севооборотов, не считаются

особо вредоносными, но отличаются стабильным проявлением из года в год. Так, в фазу кущения ячменя корневыми гнилями обычно поражается 50-70 % растений, развитие составляет 15-40 %, а в годы с засушливым маем не превышает 5 % [13].

В защите ярового ячменя от корневых гнилей чаще всего прибегают к обработке семян фунгицидами химического синтеза, обеспечивающими высокий уровень эффективности [2, 3, 8, 20, 22].

Микробиологические препараты в условиях Северо-Запада России не обладают такой же высокой эффективностью, как в других регионах страны, снижая развитие корневых гнилей в пределах 35 % [5, 14, 4]. Ограниченные возможности в защите ячменя от корневых гнилей имеют углеродные и кремнезольные наносоставы, хотя в зарубежных публикациях встречаются сведения о больших перспективах использования наноматериалов и нанотехнологий в фитосанитарии [15, 16, 18, 19]. Внесение биоудобрений и полного минерального удобрения также приводит к снижению развития заболевания за счет более интенсивного роста растений ячменя в начальный период развития [9, 12, 17, 21].

В условиях выраженного йододефицита на большей территории Северо-Запада РФ целесообразно внесение йодсодержащих удобрений в почву и используемые в сельском хозяйстве растения [7]. При этом выбор чаще всего делается в пользу йодида калия, как наиболее доступного на рынке удобрений, но мало изученного, особенно с точки зрения оказываемых фитосанитарных эффектов на аgroценозы.

Цель исследований

Оценить влияние обработки семян йодистым калием как в чистом виде, так и совместно с химическим фунгицидом, на поражение ярового ячменя корневыми гнилями в рамках решения проблемы йододефицита на Северо-Западе России.

Материалы и методы

Влияние предпосевной обработки семян йодистым калием на поражение ярового ячменя корневыми гнилями изучали в микрополевом опыте на экспериментальной базе Меньковского филиала Агрофизического НИИ (Ленинградская область, Гатчинский район) в 2024-2025 гг. Почва опытного участка - дерново-подзолистая супесчаная, мощность пахотного горизонта - 22 см. Удобрения и средства защиты растений не применяли.

Площадь делянки - 2 м², размещение - систематическое, повторность - 4-х-кратная, сорт - Московский 86. Обработку семян производили за две недели до посева из расчета 10 л/т рабочего раствора. Семена высевали в первую декаду мая вручную исходя из нормы 6 млн всх. семян/га. Схема опыта состояла из 6 вариантов, среди которых были варианты с разными концентрациями йодистого калия (0,01, 0,03 и 0,05 %), химического протравителя Кинто Плюс, КС (1,2 л/т) в чистом виде и совместно с йодистым калием (1,2 л/т + 0,05%).

В опыте использовали посевной материал с высокими показателями зараженности грибами *Fusarium spp.* (28 %) и *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) (12 %), что во многом гарантировало сильное проявление корневых гнилей на растениях ярового ячменя, необходимое для реализации эксперимента. Полевую всхожесть семян определяли на 10⁰ сутки путем подсчета всходов на шести рядках в делянке, что по площади со-

ответствовало 1 м².

Учеты корневых гнилей проводили три раза в течение периода вегетации ячменя: в фазы кущения, выхода в трубку и колошения. Определяли степень поражения, интенсивность поражения в баллах по принятой шкале и развитие корневых гнилей путем выкапывания 30 растений с каждой делянки и последующего анализа корневой системы в лабораторных условиях [6].

Урожай убирали вручную с площади 1 м² опытной делянки, снопы досушивали, обмолачивали, зерно взвешивали. Из элементов структуры урожая определяли общий и продуктивный стеблестой, массу зерна с делянки, массу зерна с колоса и массу 1000 зерен.

Погодные условия в период исследований были таковы, что по тепло- и влагообеспеченности более благоприятным для роста и развития ярового ячменя оказался 2024 г. Так, во второй и третьей декадах мая среднесуточная температура воздуха составляла 15,0 °C, сумма осадков - 27 мм, в июне - 17,1 °C и 41 мм, июле - 18,9 °C и 92 мм. В сравнении с предыдущим, 2025 г., характеризовался как значительно более прохладный и избыточно увлажненный. Средняя температура воздуха второй и третьей декад мая была равной 11,9 °C, суммарное количество выпавших осадков - 71 мм, в июне - 14,0 °C и 219 мм, июле - 19,7 °C и 75 мм. Для развития корневых гнилей более благоприятными были погодные условия в 2025 г., когда в первой половине вегетации ячменя наблюдалось сильное переувлажнение почвы и замедленный темп начального роста культуры из-за пониженных температур.

Статистическая обработка данных заключалась в расчете средних значений и наименьшей существенной разницы (НСР₀₅) по результатам проведения дисперсионного анализа в программе Statistica 6.

Результаты и обсуждение

Сильная зараженность семян ячменя, используемых при посеве в опыте, предопределила уровень развития корневых гнилей, который соответствовал умеренной степени в фазы кущения и выхода в трубку, высокой - в фазу колошения культуры. Это подтверждают данные развития болезни, имеющей гельминтоспориозно-фузариозную этиологию, на контрольном варианте (16,1, 23,1 и 34,4 %). Обработка семян растворами йодистого калия разных концентраций приводила к устойчивому, но довольно слабому снижению развития корневых гнилей, фиксируемому во всех трех учетах. В фазу кущения ярового ячменя защитный эффект варьировал в пределах 14,3-24,8 %, в фазу выхода в трубку - от 11,7 до 14,7 %. Различия в эффективности разных концентраций йодистого удобрения обозначились в фазу колошения. По мере увеличения концентрации с 0,01 до 0,05 % отмечалось повышение защитного эффекта - с 9,0 до 19,8 % снижения развития корневых гнилей (табл. 1).

Таблица 1. Эффективность обработки семян йодистым калием в защите ярового ячменя от корневых гнилей (Ленинградская обл., МФ АФИ, 2024 г.)

Вариант опыта	Концентрация раствора, норма применения	Фаза развития культуры					
		кущение		выход в трубку		колошение	
		развитие, %	снижение от контроля, %	развитие, %	снижение от контроля, %	развитие, %	снижение от контроля, %
1. Контроль (обработка водой)	-	16,1	-	23,1	-	34,4	-
2. Йодистый калий	0,01 %	13,8	14,3	20,4	11,7	31,3	9,0
3. Йодистый калий	0,03 %	12,3	23,6	20,4	11,7	27,9	18,9
4. Йодистый калий	0,05 %	12,1	24,8	19,7	14,7	27,6	19,8
5. Кинто Плюс, КС	1,2 л/т	11,4	29,2	18,1	21,6	26,5	23,0
6. Кинто Плюс, КС + Йодистый калий	1,2 л/т + 0,05 %	11,4	29,2	17,6	23,8	25,9	24,7
HCP ₀₅		3,5		4,7		5,4	

Отмечена низкая эффективность химического протравителя Кинто Плюс, КС (21,6-29,2 %), применение которого оказывало практически аналогичный эффект на проявление корневых гнилей, как и йодистый калий в максимальной концентрации. При совместном использовании этого протравителя с йодистым калием не было выявлено снижения эффективности обработки семян в отношении корневых гнилей, а некоторое её увеличение не подтвердилось статистически. Важно отметить снижение полевой всхожести семян ячменя в данном варианте, величина которой оказалась наименьшей во всем опыте.

Результат требовал подтверждения, поскольку мог являться косвенным признаком отрицательных эффектов, связанных с совместимостью изучаемых агрохимикатов. Однако в 2025 г. различия между вариантами по полевой всхожести семян отсутствовали (рис. 1). Также следует отметить отсутствие отрицательного влияния изучаемых концентраций йодистого калия на полевую всхожесть ячменя, что согласно литературным данным может происходить при обработке семян зерновых культур избыточным содержанием йода [10, 11].

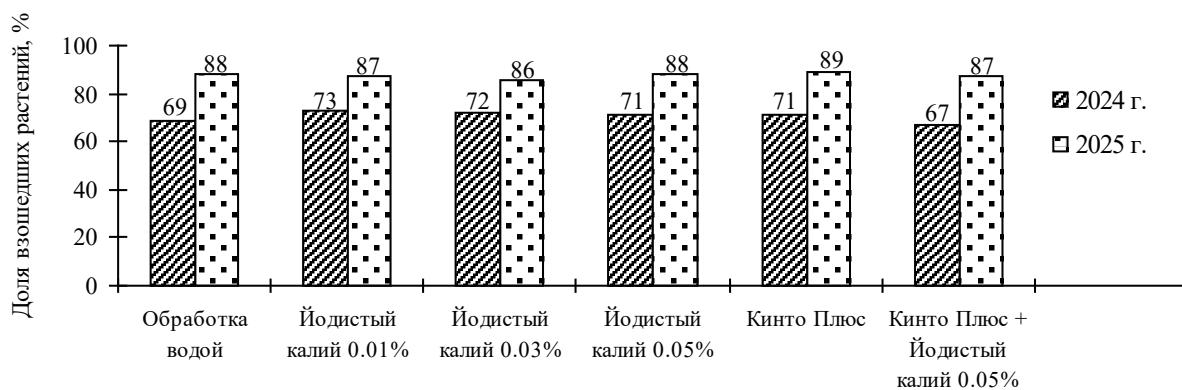


Рисунок 1. Влияние йодистого калия на полевую всхожесть семян ярового ячменя

В 2025 г. развитие корневых гнилей на яровом ячмене в опыте оказалось ниже, чем в 2024 г., хотя погодные условия были крайне неблагоприятными для начального роста и развития культурных рас-

тений. На делянках контрольного варианта в фазу кущения ячменя развитие корневых гнилей было слабым (9,1 %), в фазу выхода в трубку – умеренным (14,1 %), в колошение – сильным (28,3 %).

В условиях этого года наблюдалась типичная динамика, когда химический проправитель эффективно снижал развитие корневых гнилей на ранних фазах развития ярового ячменя с последующим уменьшением защитного эффекта на более поздних фазах. Совместное применение проправителя с йодистым калием снижало эффективность обработки на 9,9, 7,3 и 7,4 % соответственно в фазы кущения, выхода в трубку и колошения. Однако различия не были статистически значимыми. При этом можно отметить

тенденцию снижения развития корневых гнилей по мере увеличения концентрации йодсодержащего удобрения. В фазу кущения ячменя положительное влияние обработки семян йодом выражалось в защитном эффекте по отношению к заболеванию на уровне 18,7-35,2 %. В последующие фазы действие йодистого калия становилось закономерно слабее и в колошение составило в зависимости от концентрации раствора 4,6-9,9 % (табл. 2).

Таблица 2. Эффективность обработки семян йодистым калием в защите ярового ячменя от корневых гнилей (Ленинградская обл., МФ АФИ, 2025 г.)

Вариант опыта	Концентрация раствора, норма применения	Фаза развития культуры					
		Кущение		Выход в трубку		Колошение	
		развитие, %	снижение от контроля, %	развитие, %	снижение от контроля, %	развитие, %	снижение от контроля, %
1. Контроль (обработка водой)	-	9,1	-	14,1	-	28,3	-
2. Йодистый калий	0,01 %	7,4	18,7	13,7	2,8	27,0	4,6
3. Йодистый калий	0,03 %	7,1	22,0	12,2	13,5	26,3	7,1
4. Йодистый калий	0,05 %	5,9	35,2	10,0	29,1	25,5	9,9
5. Кинто Плюс, КС	1,2 л/т	2,2	75,8	6,1	37,8	19,3	31,8
6. Кинто Плюс, КС + Йодистый калий	1,2 л/т + 0,05 %	3,1	65,9	9,8	30,5	21,4	24,4
НСР ₀₅		2,8		3,9		6,7	

Влияние обработки семян раствором йодистого калия отражалось на величине сформированной урожайности ярового ячменя, которая превосходила контроль на 3,2-8,5 %. При этом отмечена тенденция роста урожайности по мере увеличения концентрации микроудобрения, а также густоты продуктивного стеблестоя, тогда как масса 1000 зерен снижалась. Самый высокий хозяйственный эффект был получен

при обработке семян фунгицидом Кинто Плюс, КС, за счёт максимального значения продуктивного стеблестоя. Отмеченное в 2024 г. отрицательное влияние совместного применения химического проправителя и йодистого калия на полевую всхожесть семян нашло отражение в величине густоты общего и продуктивного стеблестоя и, как следствие, урожайности ярового ячменя в этом варианте опыта (табл. 3).

Таблица 3. Влияние обработки семян йодистым калием на урожайность и основные элементы структуры урожая ярового ячменя (Ленинградская обл., МФ АФИ, 2024-2025 гг.)

Вариант опыта	Концентрация раствора, норма применения	Густота стеблестоя, шт/м ²		Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зёрен, г	Урожайность	
		общая	продуктивная			г/м ²	% к контролю
1. Контроль (обработка водой)	-	329	283	0,34	37,3	96,2	100
2. Йодистый калий	0,01 %	350	292	0,34	37,1	99,3	103,2

Продолжение таблицы 3

3. Йодистый калий	0,03 %	347	305	0,34	36,7	103,7	107,8
4. Йодистый калий	0,05 %	351	307	0,34	36,3	104,4	108,5
5. Кинто Плюс, КС	1,2 л/т	381	324	0,36	36,5	116,6	121,2
6. Кинто Плюс, КС + Йодистый калий	1,2 л/т + 0,05 %	357	311	0,35	36,4	108,9	113,2
HCP ₀₅		45,1	32,1	0,03	2,1	16,6	

Выводы

Впервые установлено влияние обработки семян ярового ячменя йодистым калием на снижение развития гельминтоспориозно-фузариозных корневых гнилей этой культуры на Северо-Западе России. В зависимости от концентрации раствора данного микроудобрения (0,01-0,05 %) развитие корневых гнилей снижалось на 16,5-30,0 %, 7,3-21,9 %, 6,8-14,9 % соответственно в фазы кущения, выхода в трубку и колошения по усредненным данным двухлетнего изучения. По мере роста и развития ячменя уровень защитного эффекта в отношении заболевания снижался с 23,1 % (кущение) до 13,9 % (выход в трубку) и 11,6 % (колошение). Хозяйственный эффект от применения йодистого калия выражался величиной прибавки урожая ячменя равной 3,1-8,2 г/м² (3,2-8,5 %).

Совместное применение фунгицида и йодистого калия не обеспечивало повышения биологической и хозяйственной эффективности в сравнении с обработкой семян химическим протравителем в чистом виде, но и не приводило к достоверному снижению показателей, возможному вследствие отрицательной совместимости агрохимикатов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Санкт-Петербургского государственного автономного учреждения «Фонд поддержки научной, научно-технической и инновационной деятельности» в рамках гранта № 24-16-20021 «Биообогащение сельскохозяйственной продукции йодом в условиях Санкт-Петербургской агломерации».

Литература

1. Архипов, М. В. Состояние и перспективы развития зерновой отрасли в Северо-Западном федеральном округе / М. В. Архипов, Т. А. Данилова, С. М. Синицына // Научное обеспечение развития производства зерна на северо-западе России: Сборник статей. – СПб., 2014. – С. 4-15.
2. Доронин, В. Г. Препараты для предпосевной обработки семян ярового ячменя в южной лесостепи Западной Сибири / В. Г. Доронин, Е. Н. Ледовский, С. В. Кривошеева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2019. – № 2 (55). – С. 20-28. DOI: 10.34655/bgsha.2019.55.2.003
3. Иванченко, Т. В. Результаты применения химических СЗР при предпосевной обработке семян ячменя в условиях Нижнего Поволжья / Т. В. Иванченко // Фермер. Поволжье. – 2019. – № 5 (82). – С. 62-65.
4. Князева, А. П. Влияние биологических препаратов на урожайность ярового ячменя / А. П. Князева, А. С. Мастеров // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. – № 2. – С. 90-93.
5. Курьлева, А. Г. Влияние предпосевной обработки семян биопрепаратами на урожайность и защиту растений от болезней яровых зерновых культур / А. Г. Курьлева, М. В. Курьлев // Аграрная наука ЕвроСеверо-Востока. – 2008. – № 11. – С. 29-33.
6. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. – СПб., 2009. – 378 с.
7. Побилат, А. Е. Мониторинг йода в системе «почва-растение» (обзор) / А. Е. Побилат, Волошин Е. И. // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 10. – С. 101-108. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-101-108
8. Постовалов, А. А. Роль минеральных удобрений и предпосевной обработки семян препаратами в ограничении развития корневой гнили ячменя ярового / А. А. Постовалов, С. Ф. Суханова // Вестник Курганской ГСХА. – 2024. – № 3. – С. 19-27.
9. Рогожникова, Е. С. Влияние удобрений на поражение ярового ячменя болезнями в 4 агроклимати-

- ческой зоне Ленинградской области / Е. С. Рогожникова, А. М. Шпанев, М. А. Фесенко // Вестник защиты растений. – 2016. – № 4 (90). – С. 56-61.
10. Синдирева, А. В. Экологическая оценка применения различных способов применения йодида калия под зерновые культуры / А. В. Синдирева, О. И. Курдуманова, О. В. Степанова, И. Б. Гилязова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 2. – С. 134-141.
11. Степанова, О. В. Экологическая оценка действия йода на начальные показатели роста и развития зерновых культур / О. В. Степанова, А. В. Синдирева, С. С. Вешкурцева, В. С. Вранеско // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 2. – С. 33-38. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-12033
12. Суханова, С. Ф. Влияние минеральных удобрений на фитосанитарное состояние посевов ярового ячменя / С. Ф. Суханова, А. А. Постовалов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2 (57). – С. 43-49.
13. Шпанев, А. М. Интегрированная защита ячменя ярового на Северо-Западе России / А. М. Шпанев, А. Б. Лаптиев, Н. Р. Гончаров, В. В. Воропаев // Защита и карантин растений. – 2020. – № 6. – С. 30-36.
14. Шпанев, А. М. Эффективность микробиологических препаратов на основе *Bacillus subtilis* и *Trichoderma harzianum* в защите ярового ячменя от болезней на Северо-Западе России / А. М. Шпанев, Е. С. Денисюк // Биотехнология. – 2020. – № 1 (36). – С. 61-72. DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-1-61-72
15. Шпанев, А. М. Углеродные и кремнезольные наносоставы в защите ярового ячменя от болезней на Северо-Западе России / А. М. Шпанев, Е. С. Денисюк, О. А. Шилова, К. Н. Семенов, Г. Г. Панова // Сельскохозяйственная биология. – 2022. – № 3 (57). – С. 441-459. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.3.441rus
16. Kalenska, S. Nanopreparations in technologies of plants growing / S. Kalenska, N. Novytska, T. Stolyarchuk, V. Kalenskyi, L. Garbar, M. Sadko, O. Shutiy, R. Sonko // Agronomy Research. – 2021. – № 19. – Р. 795-808. DOI: 10.15159/ar.21.017.
17. Lavrinova, V. A. Effect of combined treatments and chemicalization agents on soil mycobiota in spring barley crops / V. A. Lavrinova, T. S. Polunina // E3S Web of Conferences. – 2021. – V. 254. – 05005. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405005
18. Mir, R. A. Role of silicon in abiotic stress tolerance of plants / R. A. Mir, K. A. Bhat, A. A. Shah, S. M. Zargar // Improving abiotic stress tolerance in plants. – CRC Press, 2020. – P. 271-290. DOI: 10.1201/9780429027505-15.
19. Polischuk, S. D. Biologically active nanomaterials in production and storage of arable crops / S. D. Polischuk, G. I. Churilov, D. G. Churilov, S. N. Borychev, N. V. Byshov, D. V. Koloshein, O. V. Cherkasov // International Journal of Nanotechnology. – 2019. – № 16 (1-3). – P. 133-146. DOI: 10.1504/IJNT.2019.102400
20. Qostal, S. Management of wheat and barley root rot through seed treatment with biopesticides and fungicides / S. Qostal, S. Kribel, M. Chliyeh, K. Selmaoui, S. Serghat, R. Benkirane, A. Ouazzani Touhami, A. Douira // Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology. – 2020. – № 21. – P. 129-143.
21. Tychinskaya, I. Impact of biofertilizers on resistance to diseases of spring barley / I. Tychinskaya, A. Tarakin, Yu. Bukhvostov, I. Minakova, T. Bukreeva // E3S Web of Conferences. – 2021. – V. 273. – 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301004
22. Wei, X. Synergistic Action of Commercially Available Fungicides for Protecting Wheat from Common Root Rot Caused by *Bipolaris sorokiniana* in China / X. Wei, Z. Xu, N. Zhang, W. Yang, D. Liu, L. Ma // Plant disease. – 2020. – V. 105. – № 3. – P. 667-674. DOI: 10.1094/PDIS-03-20-0627-RE

References

1. Arkhipov, M. V. State and prospects for development of the grain industry in the Northwestern Federal District / M. V. Arkhipov, T. A. Danilova, S. M. Sinitysna // Scientific support for the development of grain production in the northwest of Russia: Collection of articles. – St. Petersburg, 2014. – P. 4-15.
2. Doronin, V. G. Preparations for pre-sowing treatment of spring barley seeds in the southern forest-steppe of Western Siberia / V. G. Doronin, E. N. Ledovsky, S. V. Krivosheeva // Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V. R. Filippov. – 2019. – № 2 (55). – P. 20-28. DOI: 10.34655/bgsha.2019.55.2.003
3. Ivanchenko, T. V. Results of the use of chemical plant protection products for pre-sowing treatment of barley seeds in the Lower Volga region / T. V. Ivanchenko // Farmer. Volga region. – 2019. – № 5 (82). – P. 62-65.
4. Knyazeva, A. P. Influence of biological preparations on the yield of spring barley / A. P. Knyazeva, A. S. Masterov // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. – 2021. – № 2. – P. 90-93.
5. Kurylyova, A. G. Effect of pre-sowing seed treatment with biopreparations on crop yield and plant protection against diseases of spring grain crops / A. G. Kurylyova, M. V. Kurylyov // Agrarian science of the Euro-North-East. – 2008. – № 11. – P. 29-33.
6. Guidelines for registration tests of fungicides in agriculture. – St. Petersburg, 2009. – 378 p.
7. Pobilat, A. E. Monitoring of iodine in the “soil-plant” system (review) / A. E. Pobilat, Voloshin E. I. // Bulletin of KrasSAU. – 2020. – № 10. – P. 101-108. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-101-108

8. Postovalov, A. A. The role of mineral fertilizers and pre-sowing seed treatment with preparations in limiting the development of root rot of spring barley / A. A. Postovalov, S. F. Sukhanova // Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy. – 2024. – № 3. – P. 19-27.
9. Rogozhnikova, E. S. Effect of fertilizers on the defeat of spring barley by diseases in the 4th agroclimatic zone of the Leningrad region / E. S. Rogozhnikova, A. M. Shpanev, M. A. Fesenko // Bulletin of Plant Protection. – 2016. – № 4 (90). – P. 56-61.
10. Sindireva, A. V. Environmental assessment of the use of various methods of applying potassium iodide to grain crops / A. V. Sindireva, O. I. Kurdumanova, O. V. Stepanova, I. B. Gilyazova // Bulletin of KrasSAU. – 2017. – № 2. – P. 134-141.
11. Stepanova, O. V. Ecological assessment of the effect of iodine on the initial indicators of growth and development of grain crops / O. V. Stepanova, A. V. Sindireva, S. S. Veshkurtseva, V. S. Vranesko // Problems of regional ecology. – 2020. – № 2. – P. 33-38. DOI: 10.24411/1728-323X-2020-12033
12. Sukhanova, S. F. Influence of mineral fertilizers on the phytosanitary condition of spring barley crops / S. F. Sukhanova, A. A. Postovalov // Bulletin of the Gorski State Agrarian University. – 2020. – № 2 (57). – P. 43-49.
13. Shpanev, A. M. Integrated protection of spring barley in the North-West of Russia / A. M. Shpanev, A. B. Laptiev, N. R. Goncharov, V. V. Voropaev // Plant protection and quarantine. – 2020. – № 6. – P. 30-36.
14. Shpanev, A. M. Efficiency of microbiological preparations based on *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* in protecting spring barley from diseases in the North-West of Russia / A. M. Shpanev, E. S. Denisyuk // Biotechnology. – 2020. – № 1 (36). – P. 61-72. DOI: 10.21519/0234-2758-2020-36-1-61-72
15. Shpanev, A. M. Carbon and silica nanocompositions in the protection of spring barley from diseases in the North-West of Russia / A. M. Shpanev, E. S. Denisyuk, O. A. Shilova, K. N. Semenov, G. G. Panova // Agricultural Biology. – 2022. – № 3 (57). – P. 441-459. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.3.441rus
16. Kalenska, S. Nanopreparations in technologies of plants growing / S. Kalenska, N. Novytska, T. Stolyarchuk, V. Kalenskyi, L. Garbar, M. Sadko, O. Shutiy, R. Sonko // Agronomy Research. – 2021. – № 19. – P. 795-808. DOI: 10.15159/ar.21.017.
17. Lavrinova, V. A. Effect of combined treatments and chemicalization agents on soil mycobiota in spring barley crops / V. A. Lavrinova, T. S. Polunina // E3S Web of Conferences. – 2021. – V. 254. – 05005. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405005
18. Mir, R. A. Role of silicon in abiotic stress tolerance of plants / R. A. Mir, K. A. Bhat, A. A. Shah, S. M. Zargar // Improving abiotic stress tolerance in plants. – CRC Press, 2020. – P. 271-290. DOI: 10.1201/9780429027505-15.
19. Polischuk, S. D. Biologically active nanomaterials in production and storage of arable crops / S. D. Polischuk, G. I. Churilov, D. G. Churilov, S. N. Borychev, N. V. Byshov, D. V. Koloshein, O. V. Cherkasov // International Journal of Nanotechnology. – 2019. – № 16 (1-3). – P. 133-146. DOI: 10.1504/IJNT.2019.102400
20. Qostal, S. Management of wheat and barley root rot through seed treatment with biopesticides and fungicides / S. Qostal, S. Kribel, M. Chliyeh, K. Selmaoui, S. Serghat, R. Benkirane, A. Ouazzani Touhami, A. Douira // Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology. – 2020. – № 21. – P. 129-143.
21. Tychinskaya, I. Impact of biofertilizers on resistance to diseases of spring barley / I. Tychinskaya, A. Tarakin, Yu. Bukhvostov, I. Minakova, T. Bukreeva // E3S Web of Conferences. – 2021. – V. 273. – 01004. DOI: 10.1051/e3sconf/202127301004
22. Wei, X. Synergistic Action of Commercially Available Fungicides for Protecting Wheat from Common Root Rot Caused by *Bipolaris sorokiniana* in China / X. Wei, Z. Xu, N. Zhang, W. Yang, D. Liu, L. Ma // Plant disease. – 2020. – V. 105. – № 3. – P. 667-674. DOI: 10.1094/PDIS-03-20-0627-RE

Александр Михайлович Шпанев
Главный научный сотрудник, заведующий
лаборатории опытного дела
E-mail: ashpanev@mail.ru

Все: Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Агрофизический научно-
исследовательский институт»
195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект,
д. 14

Alexander Mikhailovich Shpanev
Chief Researcher, Head of the Experimental
Laboratory
E-mail: ashpanev@mail.ru

All: FGBNU «Agrophysical Research Institute»
14, Grazhdanskiy pr., Saint-Petersburg, 195220,
Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2025-69-4-78-88
 УДК 546.26:631.8:581.1:635.07

Журавлева А.С., канд. биол. наук,
Ямалова Н.Р.,
Зезюльчик А.Ю.,
Хомяков Ю.В., канд. биол. наук,
Вертебный В.Е.,
Дубовицкая В.И.,
Семенов К.Н., д-р хим. наук,
Артемьева А.М., канд. с.-х. наук,
Панова Г.Г., канд. биол. наук
 г. Санкт-Петербург, Россия

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕАКЦИИ ЛИСТОВЫХ КАПУСТНЫХ КУЛЬТУР ВИДА
BRASSICA RAPA L. НА НЕКОРНЕВУЮ ОБРАБОТКУ ПОЛИГИДРОКСИЛИРОВАННЫМ
 ПРОИЗВОДНЫМ ФУЛЛЕРЕНА C_{60} В РЕГУЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ
 СВЕТОКУЛЬТУРЫ**

Выявлена реакция различных подвидов капустных культур вида *Brassica rapa* L. на некорневую обработку растворами полигидроксилированного производного фуллерена (фуллеренола) $C_{60}OH_{(22-24)}$ в регулируемых условиях интенсивной светокультуры. Установлено, что трехкратная некорневая обработка растений листовой капусты подвидов мизуна (японской), пак-чой и татсои (китайской и китайской розеточной) раствором фуллеренола в концентрации 0,01 мг/л (наиболее низкой из ранее выявленных положительно действующих на растения), способствует достоверному увеличению числа листьев у капусты мизуна (на 29 %) и татсои (на 20 %). Китайская капуста пак-чой показала слабую отзывчивость на обработку раствором фуллеренола по совокупности показателей, а наибольшая чувствительность к обработке выявлена у растений японской капусты мизуна. При этом следует отметить увеличение (в виде слабой тенденции) массы черешков (продуктового органа) у обработанной раствором фуллеренола китайской капусты пак-чой, а у японской и китайской розеточной капусты мизуна и татсои – общей массы растений и массы листьев. Отмеченная более выраженная стимуляция показателей роста у японской капусты мизуна может быть связана с выявленной активизацией работы фотосинтетического аппарата, о чем свидетельствует достоверное возрастание содержания в ее листьях хлорофиллов на 15 % и тенденция к возрастанию содержания каротиноидов (на 10 %). Обусловленная активизацией процессов биосинтеза фотосинтетических пигментов предположительная стимуляция образования ассимилятов, очевидно, является причиной достоверного увеличения сухого вещества листовых пластинок и черешков японской капусты мизуна (на 23 % и 26 %), так как, судя по изменению содержания макро- и микроэлементов, накопления минеральных элементов не наблюдается, а наоборот, проявляется тенденция к снижению их содержания как у японской капусты, так и у розеточной капусты татсои. О снижении под влиянием некорневой обработки раствором фуллеренола активности окислительных процессов в листьях японской и розеточной капусты и об улучшении их физиологического состояния также косвенно свидетельствуют изменения относительно контроля значений активности окислительно-восстановительных ферментов пероксидазы, каталазы и интенсивности перекисного окисления липидов. Полученные данные свидетельствуют о перспективности продолжения углубленных исследований механизмов воздействия водорастворимых форм фуллерена в низких концентрациях на растения.

Ключевые слова: фуллеренол C_{60} , *Brassica rapa* L., китайская, розеточная, японская капуста, интенсивная светокультура, фотосинтетические пигменты, окислительно-восстановительные ферменты, интенсивность перекисного окисления липидов, элементный состав.

**COMPARATIVE EVALUATION OF THE RESPONSE OF LEAFY BRASSIC CROPS OF THE
 SPECIES *BRASSICA RAPA* L. TO FOLIO TREATMENT WITH A POLYHYDROXYLATED
 DERIVATIVE OF FULLERENE C_{60} UNDER CONTROLLED CONDITIONS OF INTENSIVE LIGHT
 CULTURE**

*The responses of various *Brassica rapa* L. subspecies to foliar treatment with solutions of the polyhydroxylated fullerene derivative (also known as fullerol) $C_{60}OH_{(22-24)}$ under controlled, high-intensity light conditions were identified. Three foliar treatments of Mizuna (Japanese), Pak-Choi, and Tatsoi (Chinese and Chinese rosette) kale plants with a $C_{60}OH_{(22-24)}$ fullerol solution at a concentration of 0.01 mg/L (the lowest concentration previously identified for positive effects on plants) significantly increased leaf number in Mizuna (by 29 %) and Tatsoi (by*

20 %). *Pak-Choi (Chinese cabbage)* showed weak response to treatment with a fullerol solution across all parameters, while *Mizuna (Japanese cabbage)* plants showed the greatest sensitivity. A slight increase in petiole weight (the primary organ) was noted in *Pak-Choi (Chinese cabbage)* treated with a fullerol solution, while the total plant weight and leaf weight were increased in *Mizuna* and *Tatsoi (Japanese cabbage and Chinese rosette cabbage)*. The observed more pronounced growth stimulation in *Mizuna (Japanese cabbage)* may be related to the observed activation of the photosynthetic apparatus, as evidenced by a significant 15 % increase in chlorophyll content in its leaves, and a trend increase in carotenoid content (by 10 %). The presumable stimulation of assimilates formation, caused by the activation of photosynthetic pigment biosynthesis processes, is apparently the cause of a significant increase in the dry matter of leaf blades and petioles of *Mizuna Japanese cabbage* (by 23 % and 26 %). Judging by the change in macro- and microelement content, no accumulation of mineral elements is observed; on the contrary, a tendency toward a decrease in their content is observed in both Japanese cabbage and *Tatsoi rosette cabbage*. A decrease in the activity of oxidative processes in the leaves of Japanese cabbage and rosette cabbage under the influence of foliar treatment with a fullerol solution and an improvement in their physiological state are also indirectly indicated by changes in the activity of the redox enzymes peroxidase and catalase, and the intensity of lipid peroxidation. The obtained data indicate the potential for continued in-depth research into the mechanisms of the effects of low-concentration water-soluble forms of fullerene on plants.

Key words: fullerol $C_{60}OH$, *Brassica rapa L.*, Chinese cabbage, rosette cabbage, Japanese cabbage, intensive light culture, photosynthetic pigments, oxidation-reduction enzymes, lipid peroxidation intensity, elemental composition.

Введение

Влияние водорастворимых производных легких фуллеренов на растения, их продуктивность и аккумуляцию необходимых элементов питания активно изучается в последние годы отечественными и зарубежными исследователями на примерах различных сельскохозяйственных культур [4, 8, 10-13, 19, 24, 25]. Нашей исследовательской группой ранее было установлено, что эффективность нанокомпозиций на основе водорастворимых производных легких фуллеренов в низких концентрациях (0,1-0,0001 мг/л действующего вещества, в зависимости от вида и сорта растения и используемой обработки) обусловлена их способностью активизировать метаболизм растений, поглотительные и ассимиляционные функции корней и листьев соответственно, и, как следствие, увеличивать содержание макро- и микроэлементов в растении, повышать эффективность работы фотосинтетического аппарата, антиоксидантных систем растений, обеспечивать снижение негативных процессов окисления клеточных структур в условиях стресса благодаря антиоксидантным свойствам и способности связывать свободные радикалы, что в конечном итоге положительно влияет на состояние и продуктивность растений [14-16, 21, 23]. Однако из-за разнообразия форм углеродных наносоединений, исследуемых растительных культур и условий их выращивания сложно выявить общие закономерности и механизмы воздействия водорастворимых производных фуллеренов на растения. Так, ранее на примере растений томата нами было выявлено, что реакция растений на обработку фуллеренолами и выраженность положительного эффекта может различаться даже у генетически очень близких сортов [2]. О влиянии производных фуллеренов на капустные культуры

к настоящему времени в литературе сведений мало. Проведение исследований в регулируемых условиях при минимизации экологических «шумов» позволит наиболее четко выявить особенности действия тестируемых веществ на растения.

Цель исследований

Изучить в регулируемых условиях интенсивной светокультуры реакцию растений листовых капустных культур вида *Brassica rapa L.*, принадлежащих к различным ботаническим подвидам на обработку раствором водорастворимого полигидроксилированного производного фуллерена $C_{60}OH$ ⁽²²⁻²⁴⁾ для разработки в дальнейшем технологии эффективного управления их производственным процессом, качеством получаемой растительной продукции в растениеводстве защищенного и открытого грунта.

Материалы и методы

Исследовательская работа проведена в серии лабораторных, вегетационных экспериментов на базе агробиополигона с регулируемыми условиями и лабораторий ФГБНУ АФИ. Объектом исследования являлись образцы китайской капусты пак-чой *Brassica rapa L. subsp. chinensis (L.) Hanelt* (сорт Веснянка), розеточной капусты татсои *Brassica rapa L. subsp. narinosa (Bailey) Hanelt f. rosularis*, рассеченнолистной формы японской капусты мизуна *Brassica rapa L. subsp. nipposinica (Bailey) Hanelt* с зеленой окраской листьев. Предметом исследований служил полигидроксилированный фуллерен $C_{60}OH$ ⁽²²⁻²⁴⁾, синтезированный и идентифицированный коллективом авторов по оригинальной методике [22].

Высев семян капусты проводили в чашки Петри с бумажными фильтрами. Семена распределяли по 50 штук на чашку (всего по 150 семян для каждого подвида), увлажняли дистиллированной водой (10 мл)

и ставили в термостат с температурой 25 °С (ГОСТ 12038-84. «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести», 1986). Отбор развитых проростков для высадки и высадку растений в почвозаменитель осуществляли на 3-е сутки.

Растения выращивали в сосудах с 0,5 л субстрата. При высадке в сосуды использовали 110 г почвозаменителя - субстрата «Агробалт-С» («Pindstrup») на основе нейтрализованного торфа с добавлением комплексного удобрения. Температура воздуха в течение всей вегетации составляла 24±1 °С, относительная влажность воздуха 60-70 %. Облученность растений в зоне их роста – 75-80 Вт/м² в области ФАР, продолжительность светового периода составляла 14 часов. Подкормку растений проводили 2 раза в неделю, добавляя в почвозаменитель раствор Кнопа 1н [7]. Влажность почвозаменителя поддерживали на уровне 60-70 % от ПВ. Повторность составляла 13 растений для каждого варианта (всего 6 вариантов: 3 варианта капустных культур, 2 варианта обработки, включая контроль). Для исследования морфо- и массметрических характеристик растений использовали 6 растений в каждом варианте.

Некорневую обработку растений опытным раствором фуллеренола C₆₀OH₍₂₂₋₂₄₎ в концентрации 0,01 мг/л, как наиболее низкой из положительно действующих на растения концентраций, выявленных в предыдущих исследованиях, проводили 3 раза с интервалом в семь дней (на стадиях развития 3-го, 5-го и 7-го листа растений) [16]. Отбор проб для биохимических анализов проводился на 4-е, а уборка растений - на 10-е сутки после последней обработки (30-ый день вегетации). Контролем служили растения, опрыскиваемые дистиллированной водой. Все вегетационные эксперименты повторяли дважды, полученные данные представляют собой усредненные значения 2-х экспериментов, полученные в 2024 г.

По окончании вегетации проведены измерения морфо- и массметрических характеристик растений: общая высота растения, диаметр листовой розет-

ки (см), число листьев (шт.), площадь листовой пластиинки (см²), сырья и сухая масса надземных органов растений (листовая пластиинка и черешок) (г).

В листьях также оценивали активность работы фотосинтетического аппарата, антиоксидантных систем; содержание макро- и микроэлементов по стандартным (ГОСТ 26180-84, 1984; МУ 5048-89, 1989; ГОСТ 26176-91, 1991; ГОСТ 13496.3-92, 1992; ГОСТ 13496.19-93, 1993; ГОСТ 26570-95, 1995; ГОСТ 26657-97, 1997; ГОСТ 30502-97, 1997; ГОСТ 30503-97, 1997; ГОСТ 30504-97, 1997; ГОСТ Р 51420-99, 1999) и общепринятым методикам [1, 3, 5, 6, 17]. Статистическую обработку данных проводили с применением программ Excel. Определяли средние значения изучаемых показателей, доверительные интервалы. Достоверность различий между вариантами оценивали методами параметрической статистики (t-критерий Стьюдента). Различия между вариантами считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

В серии вегетационных экспериментов выявлены особенности реакции растений разных подвидов листовой капусты *Brassica rapa* L. на некорневую обработку раствором фуллеренола C₆₀OH₍₂₂₋₂₄₎ в регулируемых условиях интенсивной светокультуры.

Установлено, что трехкратная некорневая обработка растений листовой капусты подвидов японская мизуна, китайская пак-чой и китайская розеточная татской раствором фуллеренола в концентрации 0,01 мг/л способствует (табл. 1):

- достоверному или в виде тенденции увеличению числа листьев у капусты мизуна (на 29 %), татской (на 20 %), пак-чой – на 6 %, площади листьев только у капусты подвида татской (на 17 %), диаметра розетки листьев у капусты подвида мизуна (на 10 %) и татской (на 8 %);
- снижению достоверному или в виде тенденции длины черешков капусты мизуна (на 17 %) и высоты растений (на 13 %), площади листьев у капусты подвида мизуна на 9 %, подвида пак-чой – на 11 % (табл. 1).

Таблица 1. Влияние некорневой обработки раствором фуллеренола C₆₀ на морфологические признаки растений листовой капусты разных подвидов

Вариант обработки растений	Высота растения, см/% от контроля	Диаметр розетки, см/% от контроля	Число листьев, шт/% от контроля	Длина черешков, см/% от контроля	Площадь листьев, см ² /% от контроля
Японская капуста мизуна					
Контроль – H ₂ O	26,1± 2,3/100	35,6± 1,8/100	14,2± 3,1/100	9,0± 0,4/100	973± 49/100
C ₆₀ (22-24) мг/л	22,7± 2,7/87	39,0± 1,9/110	18,3± 2,9*/129*	7,4± 0,4*/83*	884± 44/91
Китайская капуста пак-чой					
Контроль – H ₂ O	15,3± 2,1/100	25,0± 1,2/100	11,17± 0,72/100	4,69± 0,23/100	783± 39/100
C ₆₀ (22-24) мг/л	16,00± 0,7/104	24,0± 1,2/96	11,9± 1,0/106	5,0± 0,2/107	696± 35/89

Продолжение таблицы 1

Розеточная капуста татсой					
Контроль – H_2O	14,0± 1,4/100	22,2± 1,1/100	16,3± 1,1/100	5,7± 0,3/100	534± 27/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	14,5± 1,4/104	23,9± 1,2/108	19,7± 2,4*/120*	5,6± 0,3/97	626± 31*/117*

Примечание - * значение достоверно отличается от контроля на 5 %-ном уровне значимости ($p=0,05$)

Несмотря на выявленные тенденции к увеличению приведенных выше показателей роста у листовых капуст подвидов мизуна и татсой в вариантах с некорневой обработкой раствором фуллеренола $C_{60}OH_{(22-24)}$, достоверных изменений масс-метрических показателей не выявлено ни у одной из тестируемых культур (табл. 2). Можно отметить наблюдаемое

под влиянием фуллеренола $C_{60}OH_{(22-24)}$ увеличение сырой массы растений и листовых пластинок (товарная продукция) в виде слабой тенденции у подвидов мизуна и татсой, а так же массы черешков у растений листовой капусты подвида пак-чой (черешки - товарная продукция) и татсой.

Таблица 2. Влияние некорневой обработки раствором фуллеренола C_{60} на масс-метрические показатели растений листовой капусты разных подвидов

Вариант обработки растений	Масса листовой пластиинки, г/% от контроля	Масса черешков, г/% от контроля	Сырая масса растения, г/% от контроля	% сухого в-ва листовых пластиинок/% от контроля	% сухого в-ва черешков/% от контроля
Японская капуста мизуна					
Контроль – H_2O	23,6± 2,7/100	13,7± 1,0/100	39,9± 2,5/100	11,7± 0,6/100	6,4± 0,3/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	24,9± 2,7/105	13,1± 1,4/95	41,4± 3,1/104	14,4± 0,7*/123*	8,0± 0,4*/126*
Китайская капуста пак-чой					
Контроль – H_2O	20,4± 1,2/100	21,5± 1,6/100	45,6± 1,1/100	12,3± 0,6/100	5,6± 0,3/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	18,8± 1,6/92	22,6± 1,5/105	45,0± 1,1/99	12,0± 0,6/98	5,5± 0,3/99
Розеточная капуста татсой					
Контроль – H_2O	14,6±0,3/100	14,6± 2,0/100	32,2± 2,5/100	9,7± 0,5/100	4,5± 0,2/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	16,0± 1,1/109	15,0± 3,2/103	34,8± 4,0/108	9,8± 0,5/101	4,6± 0,2/101

Примечание - * значение достоверно отличается от контроля на 5 %-ном уровне значимости ($p=0,05$)

При этом содержание сухого вещества листовых пластинок и черешков под воздействием некорневой обработки раствором $C_{60}OH_{(22-24)}$ достоверно увеличивалось у растений японской капусты на 23 и 26 % соответственно и не отличалось от такового в контрольных группах у китайской и розеточной капусты (табл. 2).

Отмеченные изменения показателей роста стимулирующего характера в сочетании со значимым увеличением сухого вещества в листьях японской капусты мизуна могут быть связаны с выявленной активизацией работы фотосинтетического аппара-

та, о чем свидетельствует достоверное возрастание содержания в ее листьях суммы хлорофиллов (на 15 %) и хлорофилла *b* (на 18 %), и в виде тенденции – возрастание содержания хлорофилла *a* (на 14 %) и каротиноидов (на 10 %) (табл. 3). Обусловленная активизацией процессов биосинтеза фотосинтетических пигментов предположительная стимуляция образования ассимилятов, очевидно, является основной причиной достоверного увеличения сухого вещества листьев капусты мизуна (на 23 % и 26 %), так как, судя по изменению содержания макро- и микроэлементов, накопления минеральных элементов

не наблюдается, а наоборот, проявляется тенденция к снижению их содержания как у японской, так и у розеточной капусты.

У китайской капусты пак-чой содержание фото-

синтетических пигментов в листьях имеет тенденцию к снижению, а у растений розеточной капусты соответствует контрольным значениям.

Таблица 3. Влияние некорневой обработки раствором фуллеренола C_{60} на содержание фотосинтетических пигментов в растениях капустных культур *B. rapa*

Вариант обработки растений	Хлорофилл а, мг/100 г н.в./% от контроля	Хлорофилл б, мг/100 г н.в./% от контроля	$\Sigma a + b$, мг/100 г н.в./% от контроля	Каротиноиды, мг/100 г н.в./% от контроля
Японская капуста мизуна				
Контроль – H_2O	82,0±4,1/100	25,7±1,3/100	107,7±5,4/100	25,5±1,3/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	93,6±4,7/114	30,2±1,5*/118*	123,8±6,2*/115*	28,2±1,4/110
Китайская капуста пак-чой				
Контроль – H_2O	101,5±5,1/100	29,8±1,5/100	131,4±6,6/100	32,1±1,6/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	93,8±4,7/92	28,8±1,4/96	122,6±6,1/93	29,2±1,5/91
Розеточная капуста татсой				
Контроль – H_2O	102,4±5,1/100	35,4±1,8/100	137,8±6,9/100	30,9±1,5/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	103,0±5,1/101	33,7±1,7/95	136,7±6,8/99	31,7±1,6/103

Примечание - * значение достоверно отличается от контроля на 5 %-ном уровне значимости ($p=0,05$)

Исследование изменений в содержании макро- и микроэлементов в листьях испытуемых культур под влиянием раствора фуллеренола $C_{60}OH_{(22-24)}$ свидетельствует о преимущественном снижении, достоверном или в виде тенденции, их значений у японской капусты на 2-15 %, и у розеточной капусты - на 3-42 % (табл. 4 и 5). У китайской капусты в варианте с некорневой обработкой растений фуллеренолом

$C_{60}OH_{(22-24)}$ содержание большинства учитываемых макроэлементов в листьях не отличается от контрольного, за исключением магния, содержание которого выше контрольных значений на 18 %. Также наблюдается тенденция к увеличению содержания железа (на 8 %) и марганца (11 %); содержание меди и цинка существенно или в виде тенденции ниже (на 47 % и 6 % соответственно) контрольного.

Таблица 4. Влияние некорневой обработки раствором фуллеренола C_{60} на содержание макроэлементов в растениях листовой капусты разных подвидов

Вариант обработки растений	Сырая зола, % а.с.в. / % от контроля	Азот, % а.с.в. / % от контроля	Фосфор, % а.с.в. / % от контроля	Калий, % а.с.в. / % от контроля	Кальций, % а.с.в. / % от контроля	Магний, % а.с.в. / % от контроля
Японская капуста мизуна						
Контроль – H_2O	18,50±0,93 /100	3,47±0,17 /100	0,57±0,03/100	4,60±0,23/100	3,33±0,17/100	0,37±0,02/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	15,75±0,79*/85*	2,86±0,14*/82*	0,53±0,03/93	3,89±0,19*/85*	3,28±0,16/98	0,33±0,02 /88
Китайская капуста пак-чой						
Контроль – H_2O	15,77±0,79 /100	3,21±0,16 /100	0,58±0,03 /100	4,25±0,21 /100	2,62±0,13 /100	0,32±0,02 /100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	15,77±0,79 /100	3,29±0,16 /102	0,59±0,03 /102	4,15±0,21 /98	2,66±0,13 /102	0,38±0,02*/118*

Продолжение таблицы 4

Розеточная капуста татсой						
Контроль – H_2O	20,81±1,04 /100	4,28±0,21 /100	0,75±0,04/100	6,20±0,31 /100	3,27±0,16 /100	0,39±0,02 /100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	19,23±0,96 /92	3,96±0,20 /93	0,73±0,04 /97	5,98±0,30 /96	2,95±0,15 /90	0,32±0,02* /82*

Примечание – * значение достоверно отличается от контроля на 5 %-ном уровне значимости ($p=0,05$)

Таблица 5. Влияние некорневой обработки раствором фуллеренола C_{60} на содержание микроэлементов в растениях листовой капусты разных подвидов

Вариант обработки растений	Железо, мг/кг а.с.в./% от контроля	Марганец, мг/кг а.с.в./% от контроля	Медь, мг/кг а.с.в./% от контроля	Цинк, мг/кг а.с.в./% от контроля
Японская капуста мизуна				
Контроль – H_2O	85,2±4,26/100	89,9±4,50 / 100	2,8±0,14/100	39,0±1,95/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	73,5±3,68/86	91,7±4,59 / 102	2,6±0,13/94	36,7±1,84/94
Китайская капуста пак-чой				
Контроль – H_2O	72,3±3,62/100	75,3±3,77/100	5,4±0,27/100	41,8±2,09/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	78,1±3,91/108	83,8±4,19/111	2,9±0,14*/53*	39,3±1,97/94
Розеточная капуста татсой				
Контроль – H_2O	76,4±3,82/100	104,0±5,20/100	4,1±0,21/100	51,0±2,55/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	70,2±3,51/92	85,2±4,26*/82*	2,4±0,12*/58*	46,4±2,32/91

Примечание – * значение достоверно отличается от контроля на 5 %-ном уровне значимости ($p=0,05$)

Видовые особенности реакции тестируемых подвидов листовой капусты на некорневую обработку растений раствором фуллеренола проявляются и при оценке активности показателей антиоксидантных систем (активности ферментов пероксидазы, каталазы, интенсивность перекисного окисления липидов) в листьях растений (табл. 6). Судя по изменению их значений происходит снижение (достоверное или в виде тенденции) активности окислительных процессов в листьях листовой капусты подвидов мизуна и татсой и улучшение физиологического состояния их растений. Так, в листьях растений японской капусты мизуна активность фермента пероксидазы и интенсивность перекисного окисления липидов достоверно не отличаются от контрольных значений, активность фермента каталазы возрастает относительно контроля на 44 %, что в совокупности свидетельствует об усилении защиты растений от окислительного стресса под влиянием фуллеренола. Отмеченная реакция ан-

тиоксидантных систем на некорневую обработку тестируемым веществом характерна также и для растений розеточной капусты, но при этом интенсивность ПОЛ достоверно снижается на 22 %, что свидетельствует о том, что раствор фуллеренола в концентрации 0,01 мг/л не является стрессом для растений и об усилении их антиоксидантной защиты под его влиянием. У китайской капусты некорневая обработка растений раствором фуллеренола вызывает усиление интенсивности ПОЛ на 44 % при достоверном или в виде тенденции снижении активности фермента пероксидазы (на 18 %) и фермента каталазы (на 13 %), что указывает на некоторую активизацию окислительно-восстановительных процессов в клетках растений, возможно, связанную с активизацией метаболизма, судя по более высоким значениям железа, марганца, магния, которые, как известно, являются кофакторами различных ферментов, катализирующих биохимические реакции в растениях [9, 18, 20].

Таблица 6. Влияние некорневой обработки раствором фуллеренола C_{60} на некоторые показатели антиоксидантных систем в листьях растений листовой капусты разных подвидов

Вариант обработки растений	Пероксидаза, отн. ед. / % от контроля	Каталаза, мкМоль $H_2O_2/1\text{ мин} / \%$ от контроля	ПОЛ, мМоль/г/% от контроля
Японская капуста мизуна			
Контроль – H_2O	2,30±0,12/100	472,11±23,61/100	0,0034±0,0002/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	2,50±0,13/109	677,99±33,90*/144*	0,0035±0,0002/103
Китайская капуста пак-чой			
Контроль – H_2O	1,47±0,07/100	519,22±25,96/100	0,0034±0,0002/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	1,21±0,06*/82*	453,08±22,65/87	0,0049±0,0002*/144*
Розеточная капуста татской			
Контроль – H_2O	2,47±0,12/100	472,85±23,64/100	0,0036±0,0002/100
$C_{60(22-24)}$ 0,01 мг/л	2,48±0,12/100	632,25±31,61*/134*	0,0028±0,0001*/78*

Примечание - * значение достоверно отличается от контроля на 5 %-ном уровне значимости ($p=0,05$)

Выводы

Таким образом, в ходе оценки реакции разных подвидов листовой капусты *Brassica rapa* L. на некорневую обработку растворами полигидроксилированного производного фуллерена $C_{60}OH_{(22-24)}$ в регулируемых условиях интенсивной светокультуры выявлены особенности изменения показателей физиологического состояния растений, их морфо- и масс-метрических характеристик, а также элементного состава. Установлено, что китайская капуста показала слабую отзывчивость на обработку раствором фуллеренола по совокупности показателей, а японская капуста мизуна – наибольшую. При этом следует отметить небольшое увеличение массы черешков (пищевой продукт) у обработанной раствором фуллеренола китайской капусты пак-чой, а у японской и розеточной капусты – общей массы растений и массы листовой пластиинки (пищевой продукт).

Более выраженная стимуляция показателей роста у листовой японской капусты мизуна может быть связана с активизацией работы фотосинтетического аппарата, о чем свидетельствует достоверное возрастание или тенденция к увеличению содержания

в ее листьях хлорофиллов *a*, *b*, их суммы и каротиноидов. Стимуляция образования ассимилятов, обусловленная активизацией процессов биосинтеза фотосинтетических пигментов, очевидно, является причиной достоверного увеличения сухого вещества листьев капусты мизуна (на 23 % и 26 %). Судя по изменению содержания макро- и микроэлементов, накопления минеральных элементов не наблюдается, а наоборот, проявляется тенденция к снижению их содержания как у японской, так и у розеточной капусты. О снижении под влиянием некорневой обработки раствором фуллеренола активности окислительных процессов в листьях японской и розеточной капусты и об улучшении их физиологического состояния также косвенно свидетельствуют изменения значений активности окислительно-восстановительных ферментов пероксидазы, каталазы, а также интенсивности перекисного окисления липидов относительно контроля. Полученные данные свидетельствуют о перспективности продолжения углубленных исследований механизмов воздействия водорастворимых форм фуллерена в низких концентрациях на растения.

Литература

1. Ермаков, А.И. Методы биохимического исследования растений. /А. И. Ермаков, В. В. Арасимович, М. Н. Смирнова-Иконникова, Н. П. Ярош, Г. А. Луковникова. Под ред. А. И. Ермакова. - Л.: Агропромиздат, Ленинградское отд., 1987. – 430 с.
2. Журавлева, А.С. Влияние нанокомпозиций на основе легких фуллеренов на состояние и продуктивность карликовых форм томата / А. С. Журавлева, Е. Н. Волкова, Н. Р. Ямалова, А. С. Барашкова, Е. А. Рогожин, Г. О. Юрьев, В. Е. Вертебный, В. И. Дубовицкая, Ю. В. Хомяков, О. Р. Удалова, К. Н. Семенов, Г. Г. Панова. // Агрофизика. – 2024. – № 4. – С. 16-29.
3. Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства МУ № 5048-89 / Москва: Министерство здравоохранения СССР, Госагропром СССР, 1989. – 52 с.

4. Молчан, О.В. Влияние фуллерена на физиолого-биохимические параметры растений ячменя в гидропонной культуре /О. В. Молчан, Е. С. Зубей // Вес. Нац. акад. Навук Беларуси. Сер. біял. Навук, 2021. – Т. 66. – № 1. – С.74-87. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-1-74-87>.
5. Починок, Х.Н. Методы биохимического анализа растений / Киев: Наукова Думка, 1976. – 334 с.
6. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов, под ред. проф. чл.-кор. МАИ И.М. Скурихина, акад. В.А. Тутельяна / М.: Брандес; Медицина, 1998. – 341 с.
7. Удалова, О.Р. Влияние состава питательного раствора на продуктивность растений томата при ма-лообъемном способе выращивания в условиях регулируемой агроэкосистемы /О. Р. Удалова, Г. Г. Панова, Л. М. Аникина, В. Л. Судаков. //Агрофизика. – 2014. – Т. 1. – С.33-37.
8. Ahmadi, S.Z. Comparative morpho-physiological and biochemical responses of *Capsicum annuum* L. plants to multi-walled carbon nanotubes, fullerene C60 and graphene nanoplatelets exposure under water deficit stress / S. Z. Ahmadi, B. Zahedi, M. Ghorbanpour, H. Mumivand // BMC Plant Biol. – 2024. – № 24. – Р. 116. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04798-y>
9. Ferreira, L. de S. The nutrient magnesium in soil and plant: a review / L. de S. Ferreira, V. de Souza Oliveira, J. J. de Paula Marchiori, T. C. Ferreira, A. C. B. Bernabé, G. T. F. Boone, L. L. dos Santos Pereira, E. Carriço // Int. J. Plant Soil Sci. – 2023. – V. 35(8). – Р.136-144.
10. Gavrilov, A.N. Exploring the potential of fullerenes in food and agriculture / A. N. Gavrilov, T. V. Gladkikh, A. E. Emelyanov, A. V. Ivanov, L. C. Bukuru, N. V. Sukhanova // In BIO Web of Conferences EDP Sciences. – 2025. – V. 161. – 00010
11. Joksimović, A. Foliar application of fullerol and zinc oxide nanoparticles improves stress resilience in drought-sensitive *Arabidopsis thaliana* / A. Joksimović, D. Arsenov, M. Borišev, A. Djordjević, M. Župunski, I. Borišev // PLoS One. – 2025. – 20(8). – e0330022.
12. Kovac, T. C60(OH)24 nanoparticles and drought impact on wheat (*Triticum aestivum* L.) during growth and infection with *Aspergillus flavus* / T. Kovac, T. Marcek, B. Šarkanj, I. Borišev, M. Ižakovic, K. Jukic, R.F. Krksa // J. Fungi. – 2021. – V. 7. – № 236. – 16 p. <https://doi.org/10.3390/jof7030236>
13. Liang, C. Uptake, transportation, and accumulation of C60 fullerene and heavy metal ions (Cd, Cu, and Pb) in rice plants grown in an agricultural soil / C. Liang, H. Xiao, Z. Hu, X. Zhang, J. Hu // Environmental Pollution. – 2018. – V. 235. – P. 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.062>
14. Panova, G.G. Obtaining vegetable production enriched with minor micronutrients using fullerene derivatives. / G. G. Panova, K. N. Semenov, A. S. Zhuravleva, Yu. V. Khomyakov, E. N. Volkova, G. V. Mirskaya, A. M. Artemyeva, N. R. Yamalova, V. I. Dubovitskaya, O. R. Udalova // Horticulturae. – 2023. – № 9. – P. 828. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070828>
15. Panova, G.G. Influence of nanocompositions based on light fullerene derivatives on cultural plants under favorable and stress conditions of their habitat / G. G. Panova, K. N. Semenov, A. M. Artemyeva, E. A. Rogozhin, A. S. Barashkova, D. L. Korniyukhin, Yu. V. Khomyakov, E. V. Balashov, A. S. Galushko, V. E. Vertebnyi, A. S. Zhuravleva, E. N. Volkova, A. M. Shpanev, O. R. Udalova, E. V. Kanash // Technical Physics. – 2024. – V. 69. – № 4. – P.996-1009. <https://doi:10.1134/S1063784224030319>
16. Panova, G.G. Plant impact properties of carboxylated fullerene C60[C(COOH)2]3 / G. G. Panova, A. S. Zhuravleva, Yu. V. Khomyakov, V. E. Vertebnyi, S. V. Ageev, V. V. Sharoyko, K. N. Semenov, A. V. Petrov, N. E. Podolsky, E. I. Morozova // Journal of Molecular Structure. – 2021. – V. 1235. – P.130163.
17. Purvid, A.C. Superoxide production in mitochondria isolated from green bell pepper fruit / A. C. Purvid, R. L. Shewfeld, J. W. Gegogeine // Physiologia Plantarum. – 1995. – V. 94. – № 4. – P. 743-749. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1995.tb00993.x
18. Rout, G.R. Role of iron in plant growth and metabolism / G. R. Rout, S. Sahoo // Reviews in agricultural science. – 2015. – № 3. – P.1-24.
19. Samadi, S. Effect of carbon nanomaterials on cell toxicity, biomass production, nutritional and active compound accumulation in plants / S. Samadi, B. A. Lajayer, E. Moghiseh, & S. Rodríguez-Couto // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – V. 21. – P. 101323. doi.org/10.1016/j.eti.2020.101323
20. Schmidt, S.B. The biochemical properties of manganese in plants / S. B. Schmidt, S. Husted // Plants. – 2019. – № 8(10). – P. 381.
21. Semenov, K.N. Carboxylated fullerenes: physico-chemical properties and potential applications. / K. N. Semenov, E. V. Andrusenko, N. A. Charykov, E. V. Litasova, G. G. Panova, A. V. Penkova, I. V. Murin, L. B. Piotrovskiy // Progress in Solid State Chemistry. – 2017. – № 47. – P. 19-36.
22. Semenov, K.N. Fullerol synthesis and identification. properties of fullerol water solutions / K. N. Semenov, N. A. Charykov, V. A. Keskinov // J. Chem. Eng. Data. – 2011. – V. 56. – P. 230-239.
23. Shpanev, A.M. Carbon and silica nanostructures in the protection of spring barley from diseases in the North-West Russia / A. M. Shpanev, E. S. Denisyuk, O. A. Shilova, K. N. Semenov, G. G. Panova // Sel'skokhozyaistvennaya

- Biol. – 2022. – № 57. – P. 441-459. <https://doi.org/10.1016/j.progsolidstchem.2017.09.001>
24. Wang, W. Effects of fullerene C 60 on the uptake of nitrogen and mineral elements in crops using synchrotron radiation micro-X-ray fluorescence spectrometry (SR- μ XRF) and stable isotope labelling / W. Wang, B. Liu, L. Chen, H. Xia, P. Chen, P. Zhang, H. Lin, X. Chang // Environmental Science: Nano. – 2025. – № 12(1). – P. 481-490
25. Yamskova, O.V. Effects of the impact of water-soluble forms of fullerenes and their derivatives on metabolism of plants and yield of agricultural crops / O. V. Yamskova, D. V. Kurilov, I. V. Zavarzin, M. S. Krasnov, T. V. Voronkova // Biol Bull Rev. – 2023. – № 13. – P. 357-370. <https://doi.org/10.1134/S2079086423040114>

References

1. Ermakov, A.I. Methods of biochemical study of plants. /A. I. Ermakov, V. V. Arasimovich, M. N. Smirnova-Ikonnikova, N. P. Yarosh, G. A. Lukovnikova. Under editorship of A. I. Ermakov. - L.: Agropromizdat, Leningrad branch, 1987. - 430 p.
2. Zhuravleva, A.S. The influence of nanocompositions based on light fullerenes on the condition and productivity of dwarf forms of tomato / A. S. Zhuravleva, E. N. Volkova, N. R. Yamalova, A. S. Barashkova, E. A. Rogozhin, G. O. Yuryev, V. E. Vertebny, V. I. Dubovitskaya, Yu. V. Khomyakov, O. R. Udalova, K. N. Semenov, G. G. Panova. // Agrophysics. – 2024. – № 4. – P. 16-29.
3. Guidelines for the determination of nitrates and nitrites in plant products MU No. 5048-89 / Moscow: USSR Ministry of Health, USSR State Agro-Industrial Committee, 1989. – 52 p.
4. Molchan, O. V. Influence of fullerene on the physiological and biochemical parameters of barley plants in hydroponic culture / O. V. Molchan, E. S. Zubey // Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Sciences Series, 2021. - V. 66. - № 1. - P. 74-87. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2021-66-1-74-87>.
5. Pochinok, H.N. Methods of biochemical analysis of plants / Kyiv: Naukova Dumka, 1976. – 334 p.
6. Guide to methods of analysis of quality and safety of food products, edited by professor, corresponding member of MAI I.M. Skurikhin, academician V.A. Tutelyan / M.: Brandes; Medicine, 1998. – 341 p.
7. Udalova, O.R. Effect of nutrient solution composition on tomato plant productivity under low-volume cultivation conditions in a controlled agroecosystem / O. R. Udalova, G. G. Panova, L. M. Anikina, V. L. Sudakov. // Agrophysics. - 2014. - V. 1. - P. 33-37.
8. Ahmadi, S.Z. Comparative morpho-physiological and biochemical responses of Capsicum annuum L. plants to multi-walled carbon nanotubes, fullerene C60 and graphene nanoplatelets exposure under water deficit stress / S.Z. Ahmadi, B. Zahedi, M. Ghorbanpour, H. Mumivand // BMC Plant Biol. – 2024. – № 24. – P. 116. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-04798-y>
9. Ferreira, L. de S. The nutrient magnesium in soil and plant: a review / L. de S. Ferreira, V. de Souza Oliveira, J. J. de Paula Marchiori, T. C. Ferreira, A. C. B. Bernabé, G. T. F. Boone, L. L. dos Santos Pereira, E. Carriço // Int. J. Plant Soil Sci. – 2023. – V. 35(8). – P.136-144.
10. Gavrilov, A.N. Exploring the potential of fullerenes in food and agriculture / A. N. Gavrilov, T. V. Gladkikh, A. E. Emelyanov, A. V. Ivanov, L. C. Bukuru, N. V. Sukhanova // In BIO Web of Conferences EDP Sciences. – 2025. – V. 161. – P.00010.
11. Joksimović, A. Foliar application of fullerol and zinc oxide nanoparticles improves stress resilience in drought-sensitive *Arabidopsis thaliana* / A. Joksimović, D. Arsenov, M. Borišev, A. Djordjević, M. Župunski, I. Borišev // PLoS One. – 2025. – 20(8). – e0330022.
12. Kovac, T. C60(OH)24 nanoparticles and drought impact on wheat (*Triticum aestivum* L.) during growth and infection with *Aspergillus flavus* / T. Kovac, T. Marcek, B. Šarkanj, I. Borišev, M. Ižakovic, K. Jukic, R.F. Krška // J. Fungi. – 2021. – V. 7. – № 236. – 16 p. <https://doi.org/10.3390/jof7030236>
13. Liang, C. Uptake, transportation, and accumulation of C60 fullerene and heavy metal ions (Cd, Cu, and Pb) in rice plants grown in an agricultural soil / C. Liang, H. Xiao, Z. Hu, X. Zhang, J. Hu // Environmental Pollution. – 2018. – V. 235. – P. 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.062>
14. Panova, G.G. Obtaining vegetable production enriched with minor micronutrients using fullerene derivatives. / G. G. Panova, K. N. Semenov, A. S. Zhuravleva, Yu. V. Khomyakov, E. N. Volkova, G. V. Mirskaya, A. M. Artemyeva, N. R. Yamalova, V. I. Dubovitskaya, O. R. Udalova // Horticulturae. – 2023. – № 9. – P. 828. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070828>
15. Panova, G.G. Influence of nanocompositions based on light fullerene derivatives on cultural plants under favorable and stress conditions of their habitat / G. G. Panova, K. N. Semenov, A. M. Artemieva, E. A. Rogozhin, A. S. Barashkova, D. L. Korniyukhin, Yu. V. Khomyakov, E. V. Balashov, A. S. Galushko, V. E. Vertebnyi, A. S. Zhuravleva, E. N. Volkova, A. M. Shpanev, O. R. Udalova, E. V. Kanash // Technical Physics. – 2024. – V. 69. – № 4. – P. 996-1009. <https://doi.org/10.1134/S1063784224030319>
16. Panova, G.G. Plant impact properties of carboxylated fullerene C60[C(COOH)2]3 / G. G. Panova, A. S. Zhuravleva, Yu. V. Khomyakov, V. E. Vertebnyi, S. V. Ageev, V. V. Sharoyko, K. N. Semenov, A. V. Petrov, N. E.

- Podolsky, E. I. Morozova // Journal of Molecular Structure. – 2021. – V. 1235. – P. 130163.
17. Purvid, A.C. Superoxide production in mitochondria isolated from green bell pepper fruit / A. C. Purvid, R. L. Shewfeld, J. W. Gegogeine // Physiologia Plantarum. – 1995. – V. 94. – № 4. – P. 743-749. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1995.tb00993.x
18. Rout, G.R. Role of iron in plant growth and metabolism / G. R. Rout, S. Sahoo // Reviews in agricultural science. – 2015. – № 3. – P. 1-24.
19. Samadi, S. Effect of carbon nanomaterials on cell toxicity, biomass production, nutritional and active compound accumulation in plants / S. Samadi, B. A. Lajayer, E. Moghiseh, & S. Rodríguez-Couto // Environmental Technology & Innovation. – 2021. – V. 21. – P. 101323. doi.org/10.1016/j.eti.2020.101323.
20. Schmidt, S.B. The biochemical properties of manganese in plants / S. B. Schmidt, S. Husted // Plants. – 2019. – № 8(10). – P. 381.
21. Semenov, K.N. Carboxylated fullerenes: physico-chemical properties and potential applications. / K. N. Semenov, E. V. Andrusenko, N. A. Charykov, E. V. Litasova, G. G. Panova, A. V. Penkova, I. V. Murin, L. B. Piotrovskiy // Progress in Solid State Chemistry. – 2017. – № 47. – P.19-36.
22. Semenov, K.N. Fullerenol synthesis and identification. properties of fullerenol water solutions / K. N. Semenov, N. A. Charykov, V. A. Keskinov // J. Chem. Eng. Data. – 2011. – V. 56. – P.230-239.
23. Shpanev, A.M. Carbon and silica nanostructures in the protection of spring barley from diseases in the North-West Russia / A. M. Shpanev, E. S. Denisyuk, O. A. Shilova, K. N. Semenov, G. G. Panova // Sel'skokhozyaistvennaya Biol. – 2022. – № 57. – P. 441-459. https://doi.org/10.1016/j.progsolidstchem.2017.09.001
24. Wang, W. Effects of fullerene C 60 on the uptake of nitrogen and mineral elements in crops using synchrotron radiation micro-X-ray fluorescence spectrometry (SR- μ XRF) and stable isotope labelling / W. Wang, B. Liu, L. Chen, H. Xia, P. Chen, P. Zhang, H. Lin, X. Chang // Environmental Science: Nano. – 2025. – № 12(1). – P. 481-490.
25. Yamskova, O.V. Effects of the impact of water-soluble forms of fullerenes and their derivatives on metabolism of plants and yield of agricultural crops / O. V. Yamskova, D. V. Kurilov, I. V. Zavarzin, M. S. Krasnov, T. V. Voronkova // Biol Bull Rev. – 2023. – № 13. – P. 357-370. https://doi.org/10.1134/S2079086423040114

Анна Сергеевна Журавлева

Научный сотрудник отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем ФГБНУ АФИ
E-mail zhuravlan@gmail.com

Anna Sergeevna Zhuravleva

Researcher, Department of Plants Lightphysiology and Agroecosystem Bioproduction, Agrophysical Research Institute
E-mail: zhuravlan@gmail.com

Наиля Рашитовна Ямалова

Младший научный сотрудник лаборатории химии и спектроскопии углеродных наноматериалов, отдел наноструктурированных материалов, отделение перспективных разработок, НИЦ «Курчатовский институт»-ПИЯФ
Инженер отдела светофизиологии растений и биопродуктивности агроэкосистем ФГБНУ АФИ
Делопроизводитель кафедры общей и биоорганической химии ПСбГМУ им. акад. И. П. Павлова
E-mail: yamalova.nailya@gmail.com

Naila Rashitovna Yamalova

Junior Researcher, National Research Center «Kurchatov Institute» - PNPI
Engineer, Department of Plant Light Physiology and Agroecosystem Bioproduction, Agrophysical Research Institute
Clerk, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University
E-mail: yamalova.nailya@gmail.com

Алиса Юрьевна Зезюльчик

Выпускница СПбПУ Петра Великого (направление «Биотехнология», 2024 г)

Alisa Yuryevna Zezyulchik

Graduate of Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU) (Biotechnology program, 2024)

Юрий Викторович Хомяков

Старший научный сотрудник, зав. лаборатории биохимии почвенно-растительных систем ФГБНУ АФИ
E-mail: himlabafi@yandex.ru

Yuri Viktorovich Khomyakov

Senior Researcher, Head of the Laboratory of Soil-Plant Systems Biochemistry, Agrophysical Research Institute
E-mail: himlabafi@yandex.ru

Виталий Евгеньевич Вертебный

Старший научный сотрудник лаборатории
биохимии почвенно-растительных систем ФГБНУ
АФИ
E-mail: himlabafi@yandex.ru

Виктория Игоревна Дубовицкая

Научный сотрудник лаборатории биохимии
почвенно-растительных систем ФГБНУ АФИ
E-mail: himlabafi@yandex.ru

Константин Николаевич Семенов

Заведующий кафедрой общей и биоорганической
химии, заведующий лабораторией
биомедицинского материаловедения ПСПбГМУ им.
акад. И.П. Павлова
E-mail: semenov1986@yandex.ru

Анна Майевна Артемьева

Ведущий научный сотрудник, и.о. зав. отделом
генетических ресурсов овощных и бахчевых
культур ФГБНУ ФИЦ ВИР им. Н.И. Вавилова
E-mail: akme11@yandex.ru

Гаянэ Геннадьевна Панова

Ведущий научный сотрудник, и.о. зав. отделом
светофизиологии растений и биопродуктивности
агроэкосистем ФГБНУ АФИ
E-mail: gaiane@inbox.ru

Все: Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Агрофизический научно-
исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ)
195220, Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский
пр., 14

Vitaly Evgenievich Vertebny

Senior Researcher, Laboratory of Soil-Plant Systems
Biochemistry, Agrophysical Research Institute
E-mail: himlabafi@yandex.ru

Victoria Igorevna Dubovitskaya

Researcher, Laboratory of Soil-Plant Systems
Biochemistry, Agrophysical Research Institute
E-mail: himlabafi@yandex.ru

Konstantin Nikolaevich Semenov

Head of the Department of General and Bioorganic
Chemistry, Head of the Laboratory of Biomedical
Materials Science, Pavlov First Saint Petersburg
State Medical University
E-mail: semenov1986@yandex.ru

Anna Mayevna Artemyeva

Leading Researcher, Acting Head of the Department
of Vegetable and Melon Crops Genetic Resources,
Federal Research Center
N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic
Resources (VIR)
E-mail: akme11@yandex.ru

Gayane Gennadyevna Panova

Leading Researcher, Acting Head of the Department
of Plants Lightphysiology and Agroecosystem
Bioproduction, Agrophysical Research Institute
E-mail: gaiane@inbox.ru

All: Agrophysical Research Institute

195220, Saint-Petersburg 14,
Grazhdanskiy pr., Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2025-69-4-89-97
УДК 631.87: 631.461: 631.445.42

Захарова И.А., канд. биол. наук,
Юмашев Х.С., канд. с.-х. наук,
Шаталина Л. П., канд. с.-х. наук,
Лопухов П. М., канд. с.-х. наук
г. Челябинск

ВЛИЯНИЕ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ФОНАХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ФОСФОРОМ

Исследования проводили с целью изучения влияния азотного питания на биологическую активность почвы на различных фонах обеспеченности почв подвижным фосфором в севообороте и монокультуре яровой пшеницы. Объект исследований: агроценозы зернопаротравяного севооборота многолетнего стационарного опыта, степень воздействия агроприёмов на состояние почвенного плодородия. Схема опыта реализована на базе многолетнего стационарного опыта, входящего в Географическую сеть опытов с удобрениями РФ, опыт зарегистрирован под № 021 от 09.03.1999 г. на территории землепользования ФГБНУ «Челябинский НИИСХ». Исходное состояние почвы под опытом – чернозём выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный, с реакцией почвенного раствора $\text{pH} = 6.0\text{--}6.3$, содержанием гумуса 6,9 %, степенью насыщенности почвы основаниями $S = 34 \text{ мг-экв}/100 \text{ г}$, содержанием подвижного фосфора $\text{P}_2\text{O}_5 = 65\text{--}67 \text{ мг}/\text{кг}$, содержанием обменного калия = 121 мг/кг. Степень воздействия агроприёмов на состояние почвенного плодородия под посевами яровой пшеницы была максимальной в варианте $\text{N}_{90}\text{P}_{120}$, биологическая активность составила 75,2 %. Биологическая активность почвы под посевами гороха была на 21,2 % ниже, чем под яровой пшеницей. Бессменная культура яровой пшеницы по биологической активности почвы уступала посевам пшеницы в севообороте на 9,2 %. На фоне средней и повышенной обеспеченности подвижным фосфором внесение азотного удобрения приводит к усилению биологических процессов в почве на 37–54 % по сравнению с контролем. Содержание белка и клейковины в зерне пшеницы было выше на варианте с внесением азотного удобрения на фоне последействия фосфорных удобрений. Биологическая активность почвы в ризосфере зерновых и зернобобовых культур главным образом зависит от биологии культуры, места в севообороте и уровня минерального питания. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о роли азотных и фосфорных удобрений в процессах образования органического вещества почвы, определяющего биологическую активность почвенной биоты.

Ключевые слова: биологическая активность почвы, яровая пшеница (*Triticum aestivum L.*), минеральные удобрения, монокультура, севооборот.

INFLUENCE OF NITROGEN NUTRITION UNDER VARIOUS BACKGROUNDS OF PHOSPHORUS SUPPLY ON SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY

The studies were conducted to examine the influence of nitrogen nutrition on various backgrounds of soil supply with mobile phosphorus in crop rotation and monoculture of spring wheat on the biological activity of the soil. Research object: agrocenoses of a grain-grass crop rotation in a long-term stationary experiment, and the impact of agricultural practices on soil fertility. The scheme of the experiment was implemented on the basis of long-term stationary experiment, which is part of the Geographical Network of experiments with fertilizers of the Russian Federation, registered under № 021 dated 03/09/1999 on the territory of land use of the Chelyabinsky Research Institute of Agricultural Sciences. The initial condition of the soil under the experiment was leached medium-loamy medium-humus chernozem, with a soil solution reaction $\text{pH} = 6.0\text{--}6.3$, humus content of 6.9 %, soil saturation with S bases = 34 mg-eq/100 g, content of mobile phosphorus $\text{P}_2\text{O}_5 = 65\text{--}67 \text{ mg}/\text{kg}$, content of exchangeable potassium = 121 mg/kg. The degree of impact of agricultural practices on the state of soil fertility under spring wheat crops was maximal in the $\text{N}_{90}\text{P}_{120}$ variant, the biological activity was 75.2 %. The biological activity of the soil under pea crops was lower than under spring wheat by 21.2 %. The permanent crop of spring wheat is inferior to wheat crops in crop rotation by 9.2 % in terms of biological activity of the soil. Against the background of an average and increased availability of mobile phosphorus, the application of nitrogen fertilizer leads to an increase in biological processes in the soil by up to 37–54 % compared with the control. The protein and gluten content in wheat grain was higher in the variant with the introduction of nitrogen fertilizer against the background of the aftereffect of phosphorus fertilizers. The biological activity of the soil in the rhizosphere of grain and leguminous crops mainly depends on the biology of crops, the place in crop rotation and the level of mineral nutrition. The obtained experimental data indicate the role of nitrogen and phosphorus fertilizers in the processes of formation of soil organic matter, which determines the biological activity of soil biota.

Key words: biological activity of the soil, spring wheat (*Triticum aestivum L.*), mineral fertilizers, monoculture, crop rotation.

Введение

В современных условиях технологический прогресс позволяет направить силы природы на благо человека. Агробиотехнология направлена на производство различных продуктов с заданными свойствами промышленными методами, в которых используют живые организмы и биологические процессы.

Агробиотехнология помогает повышать продуктивность сельскохозяйственных культур [5, 8]. Основные задачи заключаются не только в получении экологически безопасного урожая, но и в сохранении и восстановлении плодородия почвы. Основным направлением агробиотехнологий в условиях высокопродуктивного земледелия с целью снижения рисков становится управление плодородием почв, что позволит создавать высокоэффективные инновационные продукты, товары и услуги [9, 6].

В качестве альтернативы минеральным удобрениям является микроорганизмы, стимулирующие рост и развитие растений, подавляющие фитопатогены. Растительная микробиота действует как поставщик питательных веществ, улучшающий структуру почвы, ингибитор патогенеза [4, 13].

Элементы биологического земледелия европейские землепользователи начали внедрять на почвах с pH более 5,5 при содержании доступного фосфора и обменного калия выше 600 мг/кг почвы. На таких почвах после внесения микробных препаратов биологический урожай без внесения удобрений может составлять 45-50 ц/га [1, 2].

Длительные полевые опыты по изучению систем применения удобрений в севооборотах позволяют получить наиболее полную информацию о влиянии регулярного внесения удобрений на: продуктивность сельскохозяйственных культур, баланс элементов минерального питания, изменение агрохимических свойств почв и экологическое воздействие на окружающую среду [11].

Органическое вещество почвы играет ключевую роль в её потенциальном плодородии, поскольку определяет как агрофизические, так и агрохимические свойства почв, улучшает водно-физические и биологические её свойства, обеспечивает фитосанитарное оздоровление агроценозов. В этой связи поиск альтернативных источников пополнения запасов органического вещества является важнейшей задачей агрохимической науки [10, 12]. Необходимо эффективно использовать ресурсы и разрабатывать новые агробиотехнологии, которые будут более устойчивыми и результативными в условиях изменяющегося климата [15]. Внесение органического вещества в недостаточных количествах приводит к уменьшению содержания углерода гумуса, ухудшению качества почвенного органического вещества [3]. Минимальные технологии обработки почвы с применением комплексной химизации при возделывании

яровой пшеницы повышают биологическую активность почвы на 8-26 % без угнетающего действия на микроорганизмы почвы [14].

Актуальные задачи по сохранению окружающей среды, поддержанию нормального функционирования почвы как ключевого фактора продуктивности агроэкосистем могут быть решены путем регулирования биологической активности почвы в обоснованных севооборотах с применением удобрений.

Биологическая активность почвы в ризосфере зерновых и зернобобовых культур главным образом зависит от биологии культур, места в севообороте и уровня минерального питания. Следовательно, изучение потенциала биологической активности в агроценозах при различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур дает возможность получить данные о процессах формирования органического вещества почвы.

Известно, что уровень плодородия почвы влияет на рост и развитие сельскохозяйственных культур. Специфика биологической активности чернозёмных почв Южного Зауралья до последнего времени оставалась практически не изученной.

Состояние микробной флоры почвы зависит от множества факторов: реакции среды, запасов органического вещества, физических свойств почвы, температуры, влажности и др. Существенное влияние на состояние почвенной биоты оказывают системы применения удобрений и обработки почвы. Эти агротехнические приёмы регулируют реакцию среды, условия минерализации органического вещества, концентрацию в почвенном поглощающем комплексе и растворе различных макро- и микроэлементов.

Условия жизнедеятельности и функционирования микрофлоры в чернозёмах характеризуются высокой нитрификационной активностью. Это обусловлено различными эндогенными и экзогенными факторами. Чернозёмы отличаются повышенным содержанием органического вещества, нитрификационной способностью и буферностью. Кроме того, они распространены в природных зонах с резко выраженным континентальным климатом, для которого характерны повышенный температурный режим в период вегетации при недостатке влаги, относительно короткий безморозный период. Гидролиз целлюлозы и разложение белковых веществ в цепи пептоны-аминокислоты-амиды-аммиак-нитраты в чернозёмах происходит более активно.

При высоком насыщении пашни зерновыми культурами солома оказывает негативное влияние на биологическую активность почвы. Повторные и бессменные посевы зерновых в сочетании с большим количеством запаханной в почву соломы создают фон для увеличения численности фитопатогенных грибов и микроорганизмов, участвующих в иммобилизации азота [6]. Под монокультурой более интенсивно развивается микрофлора с замедленным темпом

обмена, усваивающая преимущественно гумусовые вещества. Поэтому, если в севообороте с чередованием разнокачественных по своим биологическим характеристикам культур и чистого пара солома способна активизировать биологические процессы в почве, то в монокультуре можно наблюдать её противоположное действие как на состояние почвенной биоты, так и на продуктивность агроценоза. Однако зависимость состояния микробной флоры почвы от количества вносимой соломы и размещения культур по предшественникам не столь однозначна.

В дерново-подзолистой почве под бессменными посевами зерновых культур без внесения удобрений по сравнению с паром активно развивается микрофлора, минерализующая растительные остатки: возрастает численность микроорганизмов, участвующих в превращении органических и минеральных соединений азота, разлагающих органофосфаты и целлюлозу. В то же время в посевах зерновых слабо развиваются актиномицеты и спорообразующие бактерии-микрофлора, минерализующие труднодоступные соединения. Под бессменной культурой зерновых формируются определенные ассоциации, в частности те, которые активизируют процессы превращения органического вещества растительных остатков; тогда как под пропашными культурами формируются труднодоступные органические соединения, что ведёт к деструкции гумусовых веществ [2].

Цель исследований

Установить влияние уровня азотного питания на фонах с различной обеспеченностью почв подвижным фосфором на биологическую активность почв в посевах яровой пшеницы и гороха в севообороте и монокультуре пшеницы.

Задачи исследований

1. Изучение биологической активности почвы в зависимости от культуры севооборота.

2. влияние фонов удобренности многолетнего стационарного опыта на состояние биологической активности почвенной биоты.

Материалы и методы

Многолетний стационарный опыт входит в Географическую сеть опытов с удобрениями РФ. В реестре аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации зарегистрирован под № 021 от 09.03.1999 г. В многолетнем стационарном опыте, заложенном в 1971 году, за счёт систематического внесения различных доз удобрений в течение 25 лет создано четыре уровня обеспеченности чернозёма выщелоченным подвижным фосфором. Исходное состояние почвы под опытом (чернозём выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный), характеризующийся на период закладки нейтральной реакцией почвенного раствора ($\text{pH} = 6,0\text{--}6,3$), средним содержанием гумуса (6,9 % по Тюрину), сравнительно высокой степенью насыщенности почвы основаниями ($S = 34 \text{ мг-экв./100 г}$), средним содержанием подвижного фосфора по Чирикову ($\text{P}_2\text{O}_5 = 65\text{--}67 \text{ мг/кг}$) и высоким содержанием обменного калия ($\text{K}_2\text{O} = 121 \text{ мг/кг почвы}$). Ежегодное внесение двойного суперфосфата в дозах 28–84 кг д.в. на 1 га севооборотной площади (сумма за 25 лет – 700 – 2100 кг) изменило содержание P_2O_5 в пахотном горизонте почвы с 35–38 до 162–371 мг/кг. При совместном внесении суперфосфата с азотными удобрениями содержание в почве подвижных форм фосфора было несколько ниже и составило 141–244 мг/кг, что связано с получением на этих фонах более высокого урожая культур севооборота и, вследствие этого, большего их выноса. С 1996 года, после прекращения применения фосфорных удобрений, ведутся наблюдения за продолжительностью их последействий на фонах с разными дозами азотных удобрений и фонах «биологического» азота, накопленного предшествующей культурой севооборота.

Для изучения биологической активности почвы отобраны наиболее контрастные варианты из схемы факториального опыта, а именно: 0; N1; N2; N3; P1; P2; P3; N1P1; N2P2; N3P3 (табл. 1).

Таблица 1. Схема опыта, дозы азотного удобрения по культурам и содержание подвижного фосфора в почве

№ варианта	Код	Яровая пшеница в севообороте		Яровая пшеница бессменная		Горох	
		доза N кг/га д.в.*	содержание в почве P_2O_5 , мг/кг**	доза N кг/га д.в.*	содержание в почве P_2O_5 , мг/кг**	доза N кг/га д.в.*	содержание в почве P_2O_5 , мг/кг**
1	0	-	60	-	60	-	60
2	N1	30	60	30	60	20	60
3	N2	60	60	60	60	40	60
4	N3	90	60	90	60	60	60

Продолжение таблицы 1

5	P1	-	90	-	90	-	90
6	P2	-	80	-	80	-	80
7	P3	-	130	-	130	-	130
8	N1P1	30	90	30	90	20	90
9	N2P2	60	50	60	50	40	50
10	N3P3	90	120	90	120	60	120

Примечание - * N-кг/га д.в. аммиачная селитра; **P2O5, мг/кг - содержание в почве подвижного фосфора, мг/кг почвы

Дозы азотных удобрений: под яровую пшеницу (в севообороте и монокультуре) 0 = без удобрений, N1=30, N2=60, N3= 90 кг/га д.в.; под горох N1=20, N2=40, N3=60 кг/га. В 1972 году, за счёт систематического внесения различных доз удобрений в течение 25 лет, создано четыре уровня обеспеченности чернозёма выщелоченного подвижным фосфором. Уровни последействия фосфорного питания: P0=60 мг/кг, P1=70 мг/кг, P2 = 80 мг/кг, P3=100 мг/кг.

В опыте используется зернопаротравяной шестипольный севооборот, характерный для хозяйств лесостепной зоны Челябинской области: пар - озимая рожь - горох - яровая пшеница -однолетние травы (вика + овёс) - ячмень. Кроме того, яровая пшеница возделывается на постоянном участке (монокультура). Удобрения: азотные – аммиачная селитра, фосфорные – суперфосфат двойной гранулированный. Минеральные удобрения вносятся весной поделяночно вручную под предпосевную обработку почвы и заделываются на глубину 8-10 см. Посев гороха, зерновых колосовых культур и однолетних трав – рядовой, с междурядьем 15 см.

В дисковой навесной зерновой сеялке СЗН-16 перекрываются третий сошник, а два крайних рядка на одной делянке стыкуются с двумя крайними рядками на соседней делянке, образуя защитку из 4-х рядков. Ширина делянки 4,8 м, длина 50 м.

Анализы почвенных и растительных образцов проводили в аналитической лаборатории ФГБНУ «Челябинский НИИСХ» в соответствии с общепринятыми методиками существующих ГОСТов.

Метеорологические условия.

Условия вегетации 2022 г. характеризовались избыточным увлажнением, на 83 % превышающим среднемноголетний показатель в фазу кущения зерновых. Дальнейшее формирование биомассы происходило с недобором влаги и при повышенном температурном режиме от 60 до 75 % и от 16 до 28 % соответственно по сравнению со среднемноголетними показателями. В среднем за вегетацию недобор осадков составил 27 %, среднесуточная температура превысила среднемноголетний показатель на 1,7 °C (табл. 2).

Таблица 2. Изменения осадков и среднесуточной температуры от среднемноголетних в период с мая по сентябрь, метеопост п. Тимирязевский

Месяц	Показатель	Средне-многолетнее	Год		
			2022	2023	2024
Май (всходы –кущение)	температура, °C	11,0	-0,4	4,2	-3,2
	осадки, мм	38	31,7	-20,2	24,6
Июнь (кущение –выход в трубку)	температура, °C	15,9	0,1	0,9	2,8
	осадки, мм	60	-6,5	-3,6	84,7
Июль (колошение-цветение)	температура, °C	17,5	2,8	3,3	0,7
	осадки, мм	76	-45,8	-62,7	209,9
Август (молочно-восковая спелость)	температура, °C	15,5	4,3	1,4	-0,7
	осадки, мм	57	-42,7	161,1	-2,3

Продолжение таблицы 2

Сентябрь (полная спелость)	температура, °C	9,5	1,6	1,6	0,3
	осадки, мм	40	-11,7	39,7	-29,2
Всего за май-сентябрь	температура, °C	13,9	1,7	2,3	0
	осадки, мм	271	-74,4	104,3	287,7

Осадки в начале вегетационного периода достаточно влажного 2023 г. были на 53 % ниже среднемноголетнего показателя при повышенном температурном режиме на 38 %, что не обеспечивало оптимальных условий для всходов и кущения зерновых. Колошение и цветение происходило в условиях недобора осадков на 82 % и при повышении температуры на 19 % по сравнению со среднемноголетними показателями. Высокое избыточное увлажнение в августе, превышающее среднемноголетние в 3,8 раза, и в сентябре на 99 % способствовало наливу зерна, но увеличивало период созревания, несмотря на повышенный температурный режим на 1,4-1,6 °C. В целом за вегетационный период 2023 г. осадков выпало на 38 % больше.

Особым режимом увлажнения отмечен период исследований - избыточно влажный 2024 г. В начале вегетации (май – июль) количество осадков превышало среднемноголетний показатель в 3,8 раза. Достаточно низкие температуры в начале кущения сменились повышением среднемесячной температуры на 18 % по сравнению со среднемноголетними показателями. Количество осадков в сентябре в фазу налива зерна не оказалось резкого отрицательного действия на урожайность культуры. Повышение среднесуточных температур в июне - июле ускорило процесс созревания зерновых. В целом за вегетацию 2024 г. количество осадков превышало среднемноголетнее значение в 2,1 раза.

Выявлена значительная изменчивость по осад-

кам экстремально влажного 2024 года, июль самый нестабильный месяц (от -62,7 мм в 2023 г. и до +209,9 мм в 2024 г.). Установлены тенденции: усиление контрастов в виде резких перепадов осадков и температур (2023 г. – сочетание засухи и ливней). Значительная изменчивость погодных условий в годы исследований может быть связана с климатическими аномалиями. Нестабильность погодных условий: резкие перепады температур и неравномерное распределение осадков в течение вегетации. Вегетационный период, характеризующийся разнообразными условиями в связи с континентальным климатом Южного Зауралья, обусловил действие главных факторов на рост и развитие полевых культур.

Результаты и обсуждение

Внесение минеральных удобрений усиливает интенсивность колебаний численности бактерий в почве. Однако при сопоставлении севооборота и монокультуры выявлено, что в условиях монокультуры минеральные удобрения не позволяют восстановить этот показатель до уровня севооборота.

Продуктивность зерновых и зернобобовых культур в лесостепных агроландшафтах Зауралья в первую очередь определяется доступностью почвенной влаги для растений. Её избыточное количество негативно сказывается на продуктивности. В таких условиях эффективность азотных удобрений снижается, а ключевое значение приобретает обеспеченность почвы фосфором (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность культур по вариантам опыта, т/га зерновых единиц

№ п/п	Вариант	Яровая пшеница в севообороте	Яровая пшеница бессменная	Горох
1	0	1,45	1,31	1,12
2	N1	2,01	2,03	0,88
3	N2	1,84	1,53	0,65
4	N3	1,66	1,60	0,51
5	P1	1,51	1,59	1,22
6	P2	1,74	1,59	1,39
7	P3	1,82	1,48	1,38
8	N1P1	1,77	1,66	1,37

Продолжение таблицы 3

9	N2P2	1,49	1,54	0,86
10	N3P3	1,48	1,26	0,64

Повышение продуктивности пашни и увеличение объёмов производства сельскохозяйственной продукции при максимальном сохранении естественного плодородия почвы в определённой степени обеспечивается за счет минерализации органического вещества почвы. Одним из источников восполнения органического вещества в почве является возврат в нее пожнивных остатков - соломы. Запасы соломы, которые в перспективе можно использовать в

качестве удобрения в Челябинской области под различными культурами севооборота, представлены в таблице 2 [6, 10].

Внесение минеральных удобрений усиливает интенсивность колебаний численности бактерий в почве. Биологическая активность почвы оценивалась методом разложения льняного полотна. Время экспозиции составило 60 дней (табл. 4).

Таблица 4. Биологическая активность выщелоченного чернозёма (метод льняных полотен), 2022-2024 гг., % убыли

№	Вариант (Фактор А)	Культура (Фактор В)				
		яровая пшеница	яровая пшеница бессменно	горох	среднее	Различие по А
1	0	47,3	45,6	33,7	42,2	контроль
2	N ₁	47,7	44,6	50,8	47,7	5,5
3	N ₂	56,8	49,0	48,9	51,6	9,4
4	N ₃	66,7	49,7	43,1	53,2	11,0
5	P ₁	65,0	48,4	22,2	45,2	3,0
6	P ₂	49,1	43,5	18,8	37,1	-5,1
7	P ₃	53,5	42,2	46,5	47,4	5,2
8	N ₁ P ₁	55,7	36,8	42,1	44,9	2,7
9	N ₂ P ₂	66,4	46,0	37,0	49,8	7,6
10	N ₃ P ₃	75,2	66,0	54,0	65,1	22,9
Среднее		58,3	47,2	39,7		
Различие по В		контроль	-11,2	-18,6		
HCP ₀₅ A=13,4; HCP ₀₅ B=7,3						

Степень воздействия агроприёмов на состояние почвенного плодородия в полях севооборота многолетнего стационара под посевами яровой пшеницы проявилась в увеличении биологической активности: в варианте N3 (N₉₀P₆₀) - 66,7; в варианте N2P2 (N₆₀P₅₀) - 66,4; в варианте N3P3 (N₉₀P₁₂₀) - 75,2.

В севообороте с чередованием разнокачественных по своим биологическим характеристикам культур наблюдается активизация биологических процессов в почве. По сравнению с бессменным посевом усиление процессов достигает в среднем 58,3 % по опыту.

Биологическая активность почвы под посевами

гороха была ниже, чем под яровой пшеницей, выращиваемой как в севообороте, так и бессменно. В среднем по вариантам биологическая активность под посевами гороха была на 18,6 % ниже, чем под яровой пшеницей в севообороте. Это обусловлено биологическими особенностями культуры гороха, наличием симбиотических клубеньковых бактерий в корневой системе и меньшим накоплением растительных остатков в почве, чем при возделывании зерновых культур, даже в смеси с бобовыми. Результаты исследований согласуются с выводами учёных Туруской В. И., Коноваловой Е. Я. [7].

Максимальная биологическая активность отмечена в среднем по культурам на варианте N3Р3 при внесении наибольших доз удобрений. Внесение азотного удобрения способствовало повышению биологической активности под посевами гороха с 33,7 % до 43,1-50,8 %. При повышении обеспеченности почвы подвижным фосфором до 130 мг/кг биологическая активность в ризосфере гороха повышалась до 46,5 %, или на 12,8 %. На фоне средней и повышенной обеспеченности подвижным фосфором повышение доз азотных удобрений приводило к усилению биологических процессов в почве под горохом до 37-54% или на 9,7-63,6 % по сравнению с контролем (вариант 1).

При возделывании яровой пшеницы в севообороте внесение азотного удобрения усиливает биологическую активность почвы в ризосфере яровой пшеницы, причём с увеличением дозы азотного удобрения биологическая активность возрастает с 47,3 до 66,7 % при внесении 90 кг/га д. в. азота. На фоне средней и повышенной обеспеченности почвы подвижным фосфором биологическая активность почвы достигала 75,2 %. Обеспеченность почвы подвижным фосфором также положительно влияет на биологическую активность, однако в данном случае недостаток азота в этих вариантах оказывает негативное воздействие.

Наши исследования показывают, что без применения удобрений наименьшая биологическая активность почвы выявлена в ризосфере гороха, она составила всего 33,7 %, в то время как под яровой пшеницей в севообороте – 47,3, в бессменной культуре 45,6 %.

На биологическую активность почвы под посевами яровой пшеницы, выращиваемой в бессменной культуре, большое влияние оказывает длительное (более 50-ти лет) возделывание её на постоянном участке. Под монокультурой более интенсивно развивается микрофлора с замедленным темпом об-

мена, усваивающая преимущественно гумусовые вещества. Поэтому если в севообороте с чередованием разнокачественных по своим биологическим характеристикам культур и чистого пара наблюдается активизация биологических процессов в почве, то в монокультуре можно наблюдать её противоположное действие на состояние почвенной биоты.

Результаты исследований показали снижение биологической активности почвы под яровой пшеницей, выращиваемой на постоянном участке по сравнению с севооборотом.

С точки зрения биологической активности почвы по вариантам с различными дозами минеральных удобрений бессменная культура яровой пшеницы уступает посевам пшеницы в севообороте.

Выводы

Получены экспериментальные данные о состоянии биологической активности почвы под сельскохозяйственными культурами в зернопаротравяном севообороте многолетнего стационара, зависящий, главным образом от биологических особенностей культур, их места в севообороте и уровня минерального питания.

Влияние агроприёмов на состояние почвенного плодородия в полях севооборота многолетнего стационара под посевами яровой пшеницы проявилось в увеличении биологической активности: в варианте с дозой азотного удобрения 90 кг/га д. в. и содержанием подвижного фосфора 60 мг/кг почвы биологическая активность составила 66,7; в 9 варианте (код N2Р2) с дозой азотного удобрения 60 кг/га д. в. и содержанием подвижного фосфора 50 мг/кг - 66,4; в 10 варианте (код N3Р3) с дозой азотного удобрения 90 кг/га д.в. и содержанием подвижного фосфора 120 мг/кг - 75,2 (максимальное значение).

В отношении биологической активности почвы, при различных дозах минеральных удобрений бессменная культура яровой пшеницы уступает посевам пшеницы в севообороте.

Литература

1. Дабахов, М.В. Итоги международной научно-практической конференции «Биологизация землепользования: почва, технологии, продукция». Москва 28-31 августа 2023 г./ М.В. Дабахов М.В., Е.В. Федосеева // Биосфера. - 2023. - Т. 15. - № 3. - С. 292-296.
2. Кирюшин, В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия / В. И. Кирюшин // Почвоведение. - 2019. - № 9. - С. 1130-1139.
3. Масютенко, Н. П. К комплексной оценке воздействия агротехнологии на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов / Н. П. Масютенко, Н.А. Чуян, М.Н. Масютенко, А.В. Кузнецов, Г.М. Брескина // Достижения науки и техники АПК. - 2023. - Т. 37. - № 8. - С. 12-18.
4. Сидоренко, М. Л. Прорастание семян злаков под влиянием композиций азотфикссирующих и фосфатомобилизующих бактерий из почв, возделываемых в условиях Дальнего Востока / М. Л. Сидоренко, Н.А. Слепцова, А.Н. Быковская, В.В. Бережная, А.Г. Клыков // Сельскохозяйственная биология. - 2021. - Т. 56. - № 1. - С. 146-157.
5. Союз органического земледелия. Агробиотехнологии и методы органического земледелия [Электронный ресурс.]. – Режим доступа: <https://soz.bio/agrotehnika-prirodnogo-zemledeliya/> вход свободный (дата обращения: 22.03.2024).
6. Трухачев, В. И. Об итогах международной научной конференции «Агробиотехнология-2021» / В. И.

- Трухачев // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2021. - № 5. - С. 5-18.
7. Турусов, В. И. Роль остаточной биомассы культур в регулировании биологической активности почвы в звеньях севооборотов юго-востока ЦЧР / В. И. Турусов, Е. Я. Коновалова // Плодородие. - 2024. - № 6 (141). - С. 5-9.
8. Уровень внедрения агробиотехнологий в России. AgroXXI.ru [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/uroven-vnedrenija-agrobiotekhnologii-v-rossii.html>, вход свободный (дата обращения 22.03.2024).
9. Шаталина, Л. П. Влияние севооборотов на плодородие выщелоченных черноземов Южного Урала / Л. П. Шаталина, Ю.Б. Анисимов, Ю. С. Мошкина // Аграрный вестник Урала. -2024. - Т. 24. - № 1. - С. 32-45.
10. Юмашев, Х. С. Резервы повышения органического вещества чернозёмных почв / Х.С. Юмашев, И.А. Захарова. // Челябинский государственный университет. - 2024. - 144 с.
11. Balota, E. L. Soil enzyme activities under long term tillage and crop rotation systems in subtropical agro ecosystems / E.L Balota, M Kanashiro, A.C Filho, D.S Andrade, R.P. Dic // Microbiol. – 2004. – V. 35. – №. 4. – P. 300–306.
12. Bisen, N. Crop residues management option for sustainable soil health in rice-wheat system: a review / N. Bisen, C. P. Rahangdale // International Journal of Chemical Studies. - 2017. - № 5 (4). - P. 1038-1042.
13. Hanaka, A. Physiological diversity of Spitsbergen soil microbial communities suggests their potential as plant growth-promoting bacteria / A. Hanaka, Ewa Ozimek, Małgorzata Maevska, Anna Rysiak, Iolanta Jaroszuk-Scisel // International Journal of Molecular Sciences. - 2019. - V. 20. - № 5. - P. 1207.
14. Hirte, J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter / J. Hirte, J. Leifeld; S. Abiven, H.-R. Oberholzer, A. Hammelehl, J. Mayer // Front Plant Sci. - 2017. - № 8. - P. 284.
15. Philippot, L. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere / L. Philippot, J.M. Raaijmakers, P. Lemanceau, W.H. Van der Putten // Nat. Rev. Microbiol. - 2013. - № 11. - P. 15.

References

1. Dabakhov, M.V. Results of the International Scientific and Practical Conference “Biologization of Land Use: Soil, Technologies, and Products”. Moscow, August 28-31, 2023/ M.V. Dabakhov, E.V. Fedoseeva // Biosphere. - 2023. - V. 15. - № 3. - P. 292-296.
2. Kiryushin, V. I. Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems / V. I. Kiryushin // Soil Science. - 2019. - № 9. - P. 1130-1139.
3. Masutenko, N. P. To a comprehensive assessment of the impact of agrotechnology on the fertility, health and sustainability of chernozems / N. P. Masutenko, N.A. Chuyan, M.N. Masutenko, A.V. Kuznetsov, G.M. Breskina // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. - 2023. - V. 37. - № 8. - P. 12-18.
4. Sidorenko, M. L. Germination of cereal seeds under the influence of nitrogen-fixing and phosphate-mobilizing bacteria from soils cultivated in the Far East / M. L. Sidorenko, N.A. Sleptsova, A.N. Bykovskaya, V.V. Berezhnaya, A.G. Klykov // Agricultural Biology. - 2021. - V. 56. - № 1. - P. 146-157.
5. Union of Organic Farming. Agrobiotechnology and Methods of Organic Farming [Electronic resource]. – Access mode: <https://soz.bio/agrotekhnika-prirodnogo-zemledeliya> / free access (accessed on March 22, 2024).
6. Trukhachev, V. I. On the Results of the International Scientific Conference “Agrobiotechnology-2021” / V. I. Trukhachev // Izvestiya of the Timiryazev Agricultural Academy. - 2021. - № 5. - P. 5-18.
7. Turusov, V. I. The Role of Residual Crop Biomass in Regulating Soil Biological Activity in Crop Rotation Units in the South-East of the Central Black Earth Region / V. I. Turusov, E. Ya. Konovalova // Fertility. - 2024. - № 6 (141). - P. 5-9.
8. The level of implementation of agrobiotechnology in Russia. AgroXXI.ru [Electronic resource] – Access mode: <https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/zrast/uroven-vnedrenija-agrobiotekhnologii-v-rossii.html>, free access (accessed on March 22, 2024).
9. Shatalina, L. P. The Influence of Crop Rotations on the Fertility of Leached Chernozems in the Southern Urals / L. P. Shatalina, Yu. B. Anisimov, Yu. S. Moshkina // Agrarian Bulletin of the Urals. - 2024. - V. 24. - № 1. - P. 32-45.
10. Yumashev, Kh. S. Reserves for Increasing the Organic Matter in Chernozem Soils / Kh. S. Yumashev, I. A. Zakharova. // Chelyabinsk State University. - 2024. – P. 144.
11. Balota, E. L. Activity of soil enzymes during long-term soil tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems / E. L. Balota, M. Kanashiro, A. S. Filho, D. S. Andrade, and R. P. Dick // Microbiology. – 2004. – V. 35. – № 4. – P. 300-306.
12. Bisen, N. Crop residues management option for sustainable soil health in rice-wheat system: a review / N. Bisen, C. P. Rahangdale // International Journal of Chemical Studies. - 2017. - № 5 (4). - P. 1038-1042.

13. Hanaka, A. Physiological diversity of Spitsbergen soil microbial communities suggests their potential as plant growth-promoting bacteria / A. Hanaka, Ewa Ozimek, Małgorzata Maevska, Anna Rysiak, Iolanta Jaroszuk-Scisel // International Journal of Molecular Sciences. - 2019. - V. 20. - № 5. - P. 1207.
14. Hirte, J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter / J. Hirte, J. Leifeld, S. Abiven, H.-R. Oberholzer, A. Hammelele, J. Mayer // Front Plant Sci. - 2017. - № 8. - P. 284.
15. Philippot, L. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere / L Philippot, J.M. Raaijmakers, P. Lemanceau, W.H. Van der Putten // Nat. Rev. Microbiol. - 2013. - № 11. - P. 15.

Ирина Александровна Захарова
Заместитель директора по научно-исследовательской работе,
E-mail: chniisx2@mail.ru

Харис Садрэйевич Юмашев
Ведущий научный сотрудник
E-mail: chniisx2@mail.ru

Любовь Петровна Шаталина
Старший научный сотрудник,
E-mail: chniisx2@mail.ru

Павел Михайлович Лопухов
Исполняющий обязанности директора
E-mail: chniisx2@mail.ru

Все: ФГБНУ «Челябинский НИИСХ»
456404, пос. Тимирязевский Чебаркульского
района Челябинской области, ул. Чайковского, 14.

Irina Aleksandrovna Zakharova
Deputy Director for Research Work,
E-mail: chniisx2@mail.ru
Tchaikovsky street, 14.

Kharis Sadreyevich Yumashev
Leading researcher
E-mail: chniisx2@mail.ru

Lyubov Petrovna Shatalina
Senior Researcher
E-mail: chniisx2@mail.ru

Pavel Mikhailovich Lopukhov
Acting Director
E-mail: chniisx2@mail.ru

All: Federal State Budgetary Scientific Institution
«Chelyabinsk Research Institute of Agriculture»
14, Tchaikovsky street, Chelyabinsk region,
Chebarkulsky district, Timiryazevsky settlement,
456404, Russia

ИСТОРИЯ РИСОВОДСТВА В КРАСНОДАРСКОМ КРАЕ: ОПЫТ МУЗЕЙНОЙ РЕПРЕЗЕНТАЦИИ

История рисоводства на Кубани отражена в многочисленных научных, публицистических, художественных текстах, изобразительном искусстве, фотоматериалах. Особый интерес к этой теме возник в 1970-е годы, на волне интенсификации строительства в Краснодарском крае рисовых оросительных систем и государственной директивы доведения в 1980 г., производства риса до одного миллиона тонн. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об ускорении работ по освоению Приазовских плавней для дальнейшего увеличения производства риса в Краснодарском крае» от 26 февраля 1974 г. положило начало масштабному идеологическому проекту. В его реализации активно участвовали учреждения культуры, в том числе музеи. Один из примеров музейной репрезентации истории рисоводства в регионе – фотовыставка 1977 года, созданная в Краснодарском историко-краеведческом музее. Основные разделы выставки: «История мелиорации на Кубани в период деятельности «Плавстroi» (1929-1939)», «История строительства Тщикского и Шапсугского водохранилищ (1940-1941)», «Кубань – крупный район перспективного рисосеяния». Тема была представлена в экспозиции картинной галереи рисоводческого совхоза «Красноармейский». Во второй половине 1970-х годов разрабатывался, но не был реализован проект создания Музея риса в Краснодаре. В современном музейно-выставочном пространстве история рисоводства Кубани представлена фрагментарно. Наличие разнообразных артефактов в крупнейших музеях Краснодарского края, профильных научно-исследовательских, производственных, образовательных учреждениях, в архивных собраниях создает предпосылки для создания стационарных и передвижных тематических выставок. Они будут способствовать повышению престижа отрасли рисоводства и агронуки, популяризации научно-технического наследия региона, развитию научно-популярного туризма.

Ключевые слова: промышленное и научное рисоводство, борьба за миллион тонн кубанского риса, музеи Краснодарского края, музейные экспозиции по истории рисоводства, музейные фонды, популяризация научно-технического наследия.

HISTORY OF RICE GROWING IN KRASNODAR TERRITORY: EXPERIENCE OF REPRESENTATION IN MUSEUMS

The history of rice farming in the Kuban region is reflected in numerous scientific, journalistic, and artistic texts, as well as in visual arts and photographic materials. The topic gained particular attention in the 1970s, during the intensification of rice farming in the Krasnodar region and the nationwide action aimed to increase rice production to one million tons by 1980. The resolution of the Central Committee of the Communist Party of the Soviet Union and the Council of Ministers of the USSR “On Accelerating the Development of the Azov Flats to Further Increase Rice Production in the Krasnodar Region” dated February 26, 1974, marked the beginning of a large-scale ideological campaign. Cultural institutions, including museums, actively participated in the campaign. One of the examples of museum representation of the history of rice farming in the region is the photo exhibition, created at the Krasnodar Museum of History and Local Lore in 1977. The main sections of the exhibition were: “The history of land reclamation in the Kuban during the period of Plavstroi’s activity (1929-1939)”, “The history of the construction of the Tschik and Shapsug reservoirs (1940-1941)”, “Kuban is a large area of promising rice growing”. The theme was also reflected in the Art Gallery of rice State Farm “Krasnoarmeysky”. In the second half of the 1970s, a project of creating a Rice Museum in Krasnodar was developed but not implemented. The history of rice growing of the Kuban region is partially presented in the contemporary museum space. The presence of various artifacts in the largest museums of the Krasnodar region, specialized research, production, and educational institutions, as well as in archival collections, provides real conditions for the creation of stationary and mobile thematic exhibitions. These exhibitions will help to raise the prestige of the rice industry and agricultural science, promote the scientific and technical heritage of the region, and develop popular science tourism.

Key words: industrial and scientific rice growing, the struggle for a million tons of Kuban rice, museums in the Krasnodar region, museum exhibitions on the history of rice farming, museum collections, promotion of scientific and technical heritage.

Введение

Популяризация отечественного научно-технического наследия является одной из составляющих современной государственной политики, что отражено в Указе Президента Российской Федерации от 25 апреля 2022 г. № 231 «Об объявлении Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации, Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» и утвержденной Министерством науки и высшего образования Российской Федерации «Концепции развития научно-популярного туризма до 2035 года». Во исполнение этих документов активизировалась работа по выявлению и сохранению памятников науки и техники, созданию тематических экспозиций в музеях, освоению индустриального и научного наследия через развитие туристической деятельности.

Значительный опыт в этом направлении был накоплен в советский период. Популяризация как традиций, так и актуального состояния отрасли рисоводства в Краснодарском крае в 1970-е годы стала частью масштабного идеологического проекта, который обеспечивал всенародную поддержку борьбы за миллион тонн кубанского риса.

Как известно, опытные работы по культуре риса и его промышленное производство на Кубани начались еще на рубеже 1920-1930-х годов. Превращение края в крупнейший регион рисосеяния стало возможным благодаря имеющимися в крае наработками ученых ВНИИ риса и его предшественников — Кубанского сельхозинститута, научно-проектных учреждений, трудом сотрудников специализированных трестов, инженеров, агрономов, рабочих и колхозников.

Важной вехой стало Постановление Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии производства риса в Краснодарском крае» (1 февраля 1968 г.), поставившее задачу довести его в ближайшие 8-10 лет «до 650-700 тыс. тонн в год» [5]. Быстрыми темпами создавалась современная база рисосеяния. В годы девятой пятилетки введены в строй Шапсугское, Крюковское и Варнавинское водохранилища, Федоровский гидроузел. В течение 1966-1972 гг. в колхозах и совхозах начали эксплуатироваться 72 тыс. га рисовых оросительных систем [1, с. 66]. Форсировалось строительство Краснодарского водохранилища.

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР «Об ускорении работ по освоению Приазовских плавней для дальнейшего увеличения производства риса в Краснодарском крае» от 26 февраля 1974 г. предусматривалось «принятие предложения Краснодарского крайкома КПСС и Краснодарского крайисполкома о доведении в 1980 г. производства риса в колхозах и совхозах

Краснодарского края до 1 млн тонн», что обеспечивалось «строительством в 1974-1980 гг. рисовых систем в Приазовских плавнях на площади 100 тыс. га» [6]. Реализация постановления координировалась непосредственно руководством края во главе Первым секретарем крайкома КПСС С.Ф. Медуновым.

В пропаганду поставленной задачи вовлекались представители различных организаций и профессий включая деятелей культуры и искусства. Главный лозунг и логотип кампании тиражировался на плакатах, текстильных и фарфоровых изделиях. Рисовой эпope посвящались газетные и журнальные публикации, книги, фотоальбомы, передачи на радио и телевидении, произведения изобразительного искусства. Библиографы популяризовали труды ученых путем составления рекомендательных списков, организации книжных выставок «В помощь рисоводам». В полевые лагеря выезжали передвижные кинотеатры. В рисоводческие районы направлялись агитпоезда.

Цель исследований

Рассмотреть опыт музейной репрезентации истории рисоводства в регионе посредством анализа музейных проектов 1970-х годов и современной выставочной практики.

Материалы и методы

В качестве источников использованы делопроизводственная документация, документы ученых-рисоводов, хранящиеся в Государственном архиве Краснодарского края (ГАКК), нормативные акты, периодическая печать, экспонаты Краснодарского государственного историко-археологического музея-заповедника им. Е.Д. Фелицына (КГИАМЗ), Краснодарского художественного музея им. Ф.А. Коваленко (КХМ), картинной галереи п. Октябрьский Красноармейского района, каталоги выставок. Ценные сведения о наличии музейных артефактов, связанных с историей рисоводства на Кубани и организацией выставок, получены в процессе интервью с научными сотрудниками музеев М.П. Богдановой (КГИАМЗ), Е.Н. Ковакиной (КХМ), Н.Н. Суворовой, бывшим научным сотрудником КГИАМЗ, ныне пенсионером. Анализ источников, проведенный с использованием реконструктивного и историко-компаративного методов, метода включенного наблюдения позволил воссоздать опыт и современное состояние музейной репрезентации истории рисоводства на Кубани.

Результаты и обсуждение

Музеи, как и другие учреждения культуры, участвовали в идеологическом обеспечении прописанной в партийно-государственных директивах идеи превращения Краснодарского края в крупнейший рисосеющий регион.

Фотовыставка «Рис начинался так» была подготовлена в Краснодарском историко-краеведческом музее (ныне КГИАМЗ) в преддверии празднования 60-летия Великой Октябрьской социали-

стической революции, в 1977 г. Сохранившийся в Государственном архиве Краснодарского края тематико-экспозиционный план данной выставки разработала научный сотрудник музея Н.Н. Суворова [8]. Структура выставки включала в себя три темы: 1. «История мелиорации на Кубани в период деятельности «Плавстроя» (1929-1939)» с подтемами «Роль Д.П. Жлобы», «Строительство рисовой системы на хуторе Тиховском», «Техника «Плавстроя»»; 2. «История строительства Тщикского и Шапсугского водохранилищ (1940-1941)»; 3. «Кубань – крупный район перспективного рисосеяния» с подтемами «Освоение Приазовских плавней», «Лучшие рисоводы Кубани», «Наука», «Краснодарцы – рисоводам Кубани».

Негативы для изготовления фотографий 1970-х годов были закуплены музеем у известного в крае фотографа, сотрудника института «Кубаньгипроводхоз» Ю.П. Петшаковского.

Семь планшетов выставки включали кроме фотоматериалов пояснительный текст. На первом планшете размещался текст следующего содержания: «29 июня 1929 г. организован «Плавстрой». По инициативе Д.П. Жлобы были созданы опытно-мелиоративные пункты, преобразованные в Приазовскую и Кубанскую опытные станции. Впервые на Кубани в 1930 г. были сделаны пробные посевы риса, доказавшие возможность рисосеяния. Д.П. Жлоба (1887-1938) – герой гражданской войны, начальник «Плавстроя». Под его руководством «Плавстрой» стал мощной строительной и научно-исследовательской организацией». Иллюстрацией служили фотографии: «Группа инженерно-технических работников «Плавстроя» с Д.П. Жлобой (1932)», «Первая в крае рисовая система. Хутор Тиховский Славянского района».

На планшете 2 пояснялось, что изначально на строительных участках «Плавстроя» все работы велись вручную. В декабре 1929 г. были получены четыре экскаватора американской фирмы «Бьюсайрус». На фотографиях 1931–1932 гг. запечатлены строительство первой рисовой системы, ручное изготовление для нее гончарных труб, подготовку к севу на Кубанской рисовой системе, уборку урожая риса конными косилками. На одной из фотографий – землекоп, ударник производства И.Т. Пальцев, получивший в качестве поощрения грабарку (конные грабли) с лошадью от руководства «Плавстроя».

На планшете 3 текст об опреснении Гриденско-Ахтарских и Кирпильских лиманов для превращения их в рыбопитомники сопровождался фотографией «Подача воды сифоном из реки Протоки в Гриденско-Ахтарские лиманы для опреснения воды (1930)». Не обойдено вниманием наводнение в ст. Анастасиевской 1931-1932 гг., в результате которого погибли посевы и скот, люди лишились крови. Фотографии «Наводнение в марте 1932 г.,

ст. Анастасиевская» и «Забивка прорвы в районе пристани Урма около ст. Анастасиевской (март 1932)» запечатлели стихийное бедствие и борьбу с его последствиями. Далее характеризовались крупные гидротехнические проекты предвоенного времени – строительство Тщикского (1940-1941) и начало строительства Шапсугского водохранилища. Создание первого «было объявлено народной стройкой и велось скоростным методом силами 63 тыс. колхозников из 75-ти районов Краснодарского края. На стройке работало 12 тыс. грабарок». Иллюстрацией служили фото главного сооружения Тщикского водохранилища и принимавшей участие в его строительстве бригады колхоза «За мир и труд».

Содержание остальных планшетов соответствовало теме «Кубань – крупный район перспективного рисосеяния» и её подтемам. На четвертом сообщалось о том, что «отечественная база рисосеяния на индустриальной основе создана. К концу 10-й пятилетки ежегодный вклад кубанских рисоводов составит 1 млн тонн», приводились фотокопия Постановления ЦК КПСС и СМ СССР «Об ускорении работ по освоению Приазовских плавней для дальнейшего увеличения производства риса в Краснодарском крае», фото «Приазовские плавни», «Плантажная вспашка плавней в Славянском районе», «Д.Г. Пустобаев, машинист экскаватора ПМК-11 треста «Приазоврискстрой», Герой Социалистического Труда, заслуженный мелиоратор РСФСР». Фотография скреперистов ПМК-6 «Приазоврискстрой» сопровождалась информацией о том, что «впервые в практике водохозяйственного строительства был внедрен бригадный подряд и прогрессивная технология строительства рисовых чеков».

На планшете 5 были размещены фотографии первой половины 1970-х гг., в том числе: Федоровский гидроузел, головное сооружение Марьяно-Чебургольской и Кубанской оросительных систем, пост качества на уборке риса в колхозе «Советская Россия» Красноармейского района, звенья Героя Социалистического Труда Н.И. Перенижко этого же колхоза и В.А. Колесникова – колхоза «Искра» Абинского района.

Подтему «Ученые рисоводы» представляли фотографии электронно-вычислительного центра института «Кубаньгипроводхоз», опытных участков ВНИИ риса, его старейшего научного сотрудника В.Б. Зайцева, который еще в 1930-е годы возглавлял ВНИИ рисового хозяйства [9, с. 310]. В пояснительном тексте сообщалось, что Зайцев «разработал комплекс вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией рисовых систем, а также технологию производства планировочных работ с сохранением плодородия почвы». Среди запечатленных на фоне рисовых чеков рисосовхо-

за «Красноармейский» (1977) – доктор биологических наук, профессор Кубанского сельхозинститута, будущий директор ВНИИ риса и академик РАН Е.П. Алешин.

Фотографии гидроузла Краснодарского водохранилища, рисовых чеков, комбайнов «Нива» и «Колос», агитпоезда Советского района г. Краснодара в Славянском районе включал завершающий планшет. Фотоматериалы сопровождались следующим текстом: «Трудящиеся Краснодара – шефы Северского и Славянского районов. В 1978 г. они окажут помощь рисоводам в строительстве и реконструкции сельхозобъектов, обеспечении машинно-транспортных парков, оборудованием, материалами и запчастями на общую сумму 850 тыс. рублей. Будет оказана помощь в укомплектовании хозяйств кадрами строителей, механизаторов, специалистами других профессий. Завод “Краснодарсельмаш” выпустит рисоуборочные комбайны».

Как видим, за рамками выставки остался период 1940-1960-х годов. Показано лишь начало становления отрасли рисоводства, что соответствовало названию выставки. Центральной фигурой первого этапа выступает начальник «Плавстроя» Д.П. Жлоба. Труд инженеров и учёных (в том числе П.А. Витте, А.А. Шмука, В.С. Богдана, Б.А. Шумакова и др.) не актуализировался. Это можно объяснить отсутствием иллюстративного материала и слабой (на тот момент) разработкой темы в историко-научных трудах. На планшетах, посвященных современности (которые превышают по численности «исторические») борьба за миллион тонн кубанского риса показана как всенародное дело.

Выставка создавалась и функционировала как передвижная. Н.Н. Суворова и ее коллеги с планшетами в течение нескольких лет выезжали на предприятия, в учебные заведения, на полевые станы и рассказывали об истории и современном состоянии рисоводства в крае.

Во второй половине 1970-х годов на Кубани планировалось создание Музея риса. В комиссию, разрабатывавшую его концепцию и тематико-экспозиционный план, входили заместитель директора НИИ риса В.Ф. Руденко, начальник управления культуры Краснодарского крайисполкома М.М. Шапиро и Н.Н. Суворова. Для комплектования фондов были направлены экспедиции в Красноармейский и Славянский районы. Собирались материалы о мастерах высоких урожаев риса – Героях Социалистического Труда В.А. Колесникове и Н.И. Перенижко, а также молодых рисоводах В.Н. Гаврилове, В.И. Декало, А.М. Шеине [2]. Музей предполагалось открыть в районе Краснодарского водохранилища, введенного в эксплуатацию в 1975 г. Однако проект так и не был реализован.

Посредством изобразительной продукции кубанское рисоводство представлено в картинной галерее рисосовхоза «Красноармейский», основанной в 1970 г. по инициативе его директора, Героя Социалистического Труда А.И. Майстренко [7]. Наряду с работами столичных мастеров, переданными из Художественного фонда РСФСР в дар галерее, здесь экспонировались картины членов работавшей в совхозе творческой бригады Краснодарской краевой организации Союза художников РСФСР – «Групповой портрет рисоводов совхоза “Красноармейский”» П.С. Калягина, «В рисосовхозе “Красноармейский”» И.Я. Коновалова и др. Бюст Героя Социалистического Труда, управляющего отделением № 5 рисоводческого совхоза «Красноармейский» В.Ф. Осадчего – работа известного скульптора В.А. Жданова. Позже в экспозиции появилась диорама, визуализирующая начало рисосеяния на Кубани. Макеты оборудования совхоза «Красноармейский» – демонстрировали прогресс в области.

К середине 1980-х гг. освещение темы кубанского рисоводства в средствах массовой коммуникации значительно сократилось. В первой четверти нынешнего века под влиянием социокультурных (в частности, «nostalgia по советскому наследию») и экономических факторов ситуация изменилась в лучшую сторону.

В Краснодарском художественном музее им. Ф.А. Коваленко регулярно проводятся выставки советских художников, работы которых отражают историю рисоводства в крае. Среди экспозиций: «Размышление об эпохе», «Василий Нечитайло. Живопись. Графика», «Кубанского лета улыбка», «Вместе со временем», «Тебе, любимый край», «Годы свершения и созидания», «Моя советская страна» и др. Выставка «В штатном режиме» (2023) была посвящена 50-летию начала наполнения водой Краснодарского водохранилища. Среди ее экспонатов: «На рисовых полях» А.Е. Глуховцева, «Строительство Тщикского водохранилища» И.В. Коваленко, «Перекрытие Кубани» В.П. Солововника, «Рисовод» и «1 миллион тонн кубанского риса» из двухфигурной композиции «Большой рис Кубани» (фарфоровые скульптуры Э.В. Гаранько, расписанные А.А. Стрельцовым). Регулярно экспонируются в КХМ живописные полотна: «Рисоводы» Г.У. Кравченко, «Портрет рисовода Литвинова В.В.» А.Т. Зубцова, «Портрет рисовода Горковенко И.Я.» В.К. Мордовина, «У молодых рисоводов» В.П. Медведовского, «Трудный рис» В.П. Солововника, «Над рисовым полем» Г.А. Булгакова.

В экспозиции о послевоенной Кубани Краснодарского государственного историко-археологического музея-заповедника им. Е.Д. Фелицына отдельная витрина посвящена борьбе за миллион тонн кубан-

ского риса (курировала ее разработку создатель описанной выше выставки Н.Н. Суворова). Фарфоровые изделия и полотенце-рушник с символами кампании, памятные медали, символический ключ, переданный гидростроителями рисоводам на торжественном открытии Краснодарского водохранилища (что подтверждается выставленной в витрине фотографией), грамоты, фото лауреатов Государственной премии СССР в области техники 1977 г. за создание крупного водохозяйственного комплекса на Кубани, увеличившего водообеспеченность в бассейне реки и резкий рост производства риса в Краснодарском крае П.А. Левина, Р.М. Гольднера, В.Т. Присяжнюка, Ю.Н. Полякова, Б.А. Сарова, Е.П. Алешиной, Н.А. Огурцова, И.П. Мысина, А.И. Майстренко, красочный плакат с изображением рисовода, вопрошающего «Товарищ! Каков твой вклад в 1 миллион тонн Кубанского риса?», другие экспонаты не оставляют равнодушными посетителей.

В фондах КГИАМЗ комплекс по истории сельского хозяйства включает раздел «Рисоводство». Там собрана печатная продукция, фотографии, памятные знаки, сувениры. Имеется и макет рисоуборочного комбайна. Множество экспонатов получено из Федерального научного центра риса и от ученых – почетных гостей музеиных мероприятий, приуроченных к Десятилетию науки и технологий.

В свете современного государственного курса на популяризацию научно-технического наследия очевидна необходимость полноценного, а не фрагментарного представления темы истории рисоводства на Кубани в музейном пространстве, создания стационарных и передвижных выставок. Помимо фондов обозначенных музеиных учреждений, возможно использование ресурсов Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина, Федерального научного центра риса, столетие которого будет отмечаться в 2031 г., музеев районов – центров рисосеяния Краснодарского края и Республики Адыгея, а также Государственного архива Краснодарского края, в частности, коллекции рисоводов Кубани (фонд Р-1755) и видных деятелей науки Кубани (фонд Р-1677), где хранятся документы П.С. Ерыгина, Н.Б. Натальина, И.С. Косенко, Е.П. Алешиной. Копии почетных грамот, дипломов, писем, рукописей книг, дневников зарубежных командировок, пригласительных билетов на научные форумы и т.д. могут успешно экспонироваться.

Научной основой создания музеиных экспозиций должны стать фундаментальные труды, в которых нашли отражение этапы развития рисосеяния на Кубани, основные вехи селекционной работы, изучения физиологии риса, почвенно-агрономических, мелиоративных, агрометеорологических исследований, биографии ученых-рисоводов [3, 9, 10].

Площадкой для выставок могут быть не

только музеи, но и образовательные, научно-исследовательские учреждения, прежде всего Федеральный научный центр риса, а также крупные рисовые хозяйства. Последние можно рассматривать как потенциальные центры научно-популярного туризма, развитие которого является ныне приоритетным [4]. Наиболее перспективным в этом отношении представляется Рисоводческий племенной завод «Красноармейский» имени А.И. Майстренко (филиал Федерального научного центра риса) с его производственной и научной базой, уникальным культурным ландшафтом, традициями гостеприимства.

Выводы

История рисоводства на Кубани насчитывает около ста лет. Кульминацией общественного интереса к теме стало время реализации поставленной руководителями КПСС и советского государства задачи доведения урожая кубанского риса до одного миллиона тонн. Частью идеологического обеспечения этой задачи стало включение прошлого и настоящего рисоводства региона в музейное пространство. Примером может служить передвижная выставка Краснодарского краеведческого музея 1977 г., отразившая имеющиеся в распоряжении музея материалы, степень изученности темы и идеологические доминанты того времени. Произведения изобразительного искусства, запечатлевшие труд кубанских рисоводов, экспонировались (и продолжают экспонироваться ныне) в картинной галерее совхоза «Красноармейский». Проект создания Музея риса в Краснодаре, разрабатывавшийся в разгар «рисовой эпопеи», так и не воплотился в жизнь.

Характерный для последних десятилетий рост интереса к советской истории, советскому опыту модернизации отдельных отраслей промышленности и сельского хозяйства, а также современный курс на освоение научно-технического наследия, развитие научно-популярного туризма актуализируют создание стационарных и передвижных выставок, посвященных истории рисоводства на Кубани. В настоящее время тема фрагментарно представлена в музейно-выставочном пространстве Краснодарского края. Многочисленные артефакты, хранящиеся в фондах музеев, ресурсы профильных научно-исследовательских, производственных, образовательных, архивных учреждений дают возможность реализации проектов, интересных разным возрастным и профессиональным категориям экскурсантов.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Южного филиала ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачёва» по теме «Научно-техническое наследие как ресурс развития внутреннего туризма», номер государственной регистрации: 125021001868-6.

Литература

1. Алексеенко, О.И. Проблемы государственного руководства развитием рисосеяния на Кубани / О.И. Алексеенко // Социально-гуманитарный вестник: Всероссийский сборник научных трудов. – Вып. 18. – Краснодар: Краснодарский центр научно-технической информации, 2016. – С. 64-72.
2. Богданова, М.П. Сельскохозяйственные выставки музея-заповедника им. Е.Д. Фелицына / М.П. Богданова // История Кубанского государственного аграрного университета. Взгляд сквозь столетие: материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием), посвященной столетию КГАУ, Краснодар, 15 марта 2022 года. – Краснодар: Краснодарский ЦНТИ- филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России, 2022. – С. 565-572.
3. Всероссийский научно-исследовательский институт риса: история и современность / Харитонов Е.М., Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Галкин Г.А., Кизинек С.В., Фанян Г.Г. – Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2011. – 300 с.
4. Крылова Е.А. Научно-популярный туризм как новое туристическое направление в экономике России / Е.А. Крылова // Креативная экономика. – 2022. – Т. 16. – № 5. – С. 1829-1848. doi: 10.18334/ce.16.5.114638
5. Постановление Совета Министров СССР, 1 февраля 1968 г. О дальнейшем развитии производства риса в Краснодарском крае [Электронный ресурс] // Электронная библиотека исторических документов. – Режим доступа: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/355545-postanovlenie-soveta-ministrov-sssr-1-fevralya-1968-g-o-dalneyshem-razvitiu-proizvodstva-risa-v-krasnodarskom-krae> (Дата обращения: 1.07.2025).
6. Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР, 26 февраля 1974 г. Об ускорении работ по освоению Приазовских плавней для дальнейшего увеличения производства риса в Краснодарском крае [Электронный ресурс] // Электронная библиотека исторических документов. – Режим доступа: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/355932> (Дата обращения: 1.07.2025).
7. Совхоз «Красноармейский»: народная картинная галерея: альбом / авт.-сост. В.Ф. Беломыцева. – М.: Советский художник, 1982. – 64 с.
8. Тематико-экспозиционный план к выставке «Рис начинался так» // Государственный архив Краснодарского края. Ф. Р. 2019. Оп. 1. Т. 1. Д. 376. Л. 53-61.
9. Флагман рисоводства России / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Т.Н. Бондарева, Г.А. Галкин, В.Ф. Руденко, Г.Г. Фанян, Х.Д. Хурум. – Майкоп: Полиграфиздат «Адыгея», 2006. – 378 с.
10. Шеуджен, А.Х. На службе земли Кубанской / А.Х. Шеуджен, Е.М. Харитонов, Т.Н. Бондарева. – Майкоп: Адыгея, 1999. – 549, [1] с.

References

1. Alekseenko, O.I. Problems of State Management of Rice Growing Development in the Kuban Region / O.I. Alekseenko // Social and Humanitarian Bulletin: All-Russian Collection of Scientific Papers. – Issue 18. – Krasnodar: Krasnodar Center for Scientific and Technical Information, 2016. – P. 64-72.
2. Bogdanova, M.P. Agricultural Exhibitions at the E.D. Felitsyn Museum-Reserve / M.P. Bogdanova // History of Kuban State Agrarian University. A Look Through the Centuries: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference (with International Participation) Dedicated to the Centenary of KSAU, Krasnodar, March 15, 2022. – Krasnodar: Krasnodar Central Scientific and Technical Institute, branch of the Federal State Budgetary Institution “Russian Energy Agency” of the Ministry of Energy of the Russian Federation, 2022. – Pp. 565-572.
3. All-Russian Rice Research Institute: History and Modernity / Kharitonov E.M., Sheudzhen A. Kh., Bondareva T.N., Galkin G.A., Kizinek S.V., Fanyan G.G. – Maykop: OAO “Poligraf-Yug”, 2011. – 300 p.
4. Krylova E.A. Popular science tourism as a new tourist destination in the Russian economy / E.A. Krylova // Creative Economy. – 2022. – V. 16. – № 5. – P. 1829-1848. doi: 10.18334/ce.16.5.114638
5. Resolution of the Council of Ministers of the USSR, February 1, 1968 On the further development of rice production in the Krasnodar region [Electronic resource] // An electronic library of historical documents. – Access mode: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/355545-postanovlenie-soveta-ministrov-sssr-1-fevralya-1968-g-o-dalneyshem-razvitiu-proizvodstva-risa-v-krasnodarskom-krae> (Accessed: 1.07.2025).
6. Resolution of the Central Committee of the CPSU and the Council of Ministers of the USSR, February 26, 1974 On accelerating work on the development of the Azov ploughs to further increase rice production in the Krasnodar region [Electronic resource] // Electronic Library of Historical Documents. – Access mode: <https://docs.historyrussia.org/ru/nodes/355932> (Accessed: 1.07.2025).
7. Krasnoarmeysky State Farm: People’s Art Gallery: Album / compiled by V.F. Belomytseva. – Moscow: Sovetsky Khudozhnik, 1982. – 64 p.
8. Thematic and Exposition Plan for the Photo Exhibition “Rice Started This Way” // State Archives of the Krasnodar Region. – Fund R-2019. – Inventory 1. – V. 1. – File 376. – P. 53-61.

9. The Flagship of Russian Rice Production / A. Kh. Sheudzhen, E.M. Kharitonov, T.N. Bondareva, G.A. Galkin, V.F. Rudenko, G.G. Fanyan, and Kh.D. Khurum. – Maykop: Poligrafizdat “Adygeya”, 2006. – 378 p.

10. Sheudzhen, A. Kh. In the Service of the Kuban Land / A. Kh. Sheudzhen, E.M. Kharitonov, T.N. Bondareva. – Maykop: Adygeya, 1999. – 549, [1] p.

Анна Натановна Еремеева

Научный сотрудник отдела комплексных проблем изучения культуры
E-mail: erana@mail.ru

Южный филиал Российского научно-исследовательского института культурного и природного наследия имени Д. С. Лихачева
350063, Россия, г. Краснодар, ул. Красная, 28

Anna Natanovna Eremeeva

Doctor of Historical Sciences, Prof., Chief Researcher,
Department for Complex Problems
E-mail: erana@mail.ru

Cultural Research, Southern Branch of Russian Research Institute for Cultural and Natural Heritage named after D.S. Likhachev
28, Krasnaya, Krasnodar, Russia, 350063

Подписано в печать
22.12.2025
Формат 60*84/8
Бумага офсетная
Усл. печатн. листов 12.40
Заказ № 221225. Тираж 500 экз.

Тираж изготовлен в типографии «Строки»
(ИП Копыльцов П. И., ИНН 3665824412)
394086, г. Воронеж,
ул. Любы Шевцовой, 34
+7 (995) 494-84-77
www.strokivrn.ru