

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. Туманьян (ФГБНУ «ФНЦ риса»)** - д-р биол. наук, профессор

Редакционная коллегия:

4.1.1. Общее земледелие, растениеводство

(сельскохозяйственные науки, биологические науки)

И.Б. Аблова (ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко») - член-корреспондент РАН, д-р с.-х. наук

В.А. Ладатко (ФГБНУ «ФНЦ риса») - канд. с.-х. наук

Е.М. Харитонов (ФГБНУ «ФНЦ риса») - 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. Скаженник (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. Гуророва (ФГБОУ ВО «КубГАУ им. И. Т. Трубилина») - д-р биол. наук

О.А. Подколзин (ФГБУ «ЦАС Краснодарский») - 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 СКФНЦСВВ) - 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

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

(сельскохозяйственные науки, биологические науки, 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 (ФГБНУ «ФНЦ риса»)**

Корректор: **С.С. ЧИЖИКОВА (ФГБНУ «ФНЦ риса»)**

Адрес редакции:

350921, Россия, Краснодар, Белоозерный, 3

E-mail: arrr_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.

RICE 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 – June 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») - Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of agriculture

V.A. Ladatko (FSBSI «FSC of Rice») - Ph.D. in agriculture

E.M. Kharitonov (FSBSI «FSC of Rice») - 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, agrosil science, plant protection and quarantine

(agricultural sciences, biological sciences)

T.F. Bochko (FSBEI 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 (FSBEI HE «KSAU named after I. T. Trubilin») - Dr. of biology

O.A. Podkolzin (FSBI «CAS «Krasnodarsky») - 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 NCF 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

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 «Krasnoarmeisky 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 (FSBSI «FSC of Rice»)**

Proofreader: **S.S. CHIZHIKOVA (FSBSI «FSC of Rice»)**

Address:

3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

E-mail: arrr_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 and 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

Вахрушева Н.И., Малюченко Е.А.

Применение молекулярно-генетических методов для изучения генов качества рисового зерна (обзор) 6

Вахрушева Н.И., Малюченко Е.А., Оглы А. М

Анализ селекционного материала риса на наличие эффективных генов устойчивости к пирикулярриозу с использованием молекулярно-генетических методов 10

Супрунов А.И. Новичихин А.П., Бондаренко Е.В., Терещенко А.В.

Селекция гибридов кукурузы лопающейся 18

Королева С. В., Шумилова Е. В.

Пути повышения выхода семян с единицы площади при разработке технологии семеноводства гибридов F_1 перца сладкого, созданных на основе ЦМС 24

Бухаров А.Ф., Соколова Л.М., Еремина Н.А., Леунов В.И., Бухарова А.Р.

Наследование морфометрических параметров семян при отдаленной гибридизации моркови 31

Туманьян Н.Г., Кумейко Т.Б., Ольховая К.К.

Качество сортов риса селекции ФНЦ риса, переданных на госсортоиспытание в 2019-2023 гг., по трещиноватости зерна в связи с содержанием амилозы 39

Чижикова С.С., Папулова Э. Ю., Туманьян Н. Г.

Технологические признаки качества сортообразцов риса отечественной селекции с повышенной крупностью зерна 46

Слабченко А.С., Джамирзе Р.Р.

Возделывание риса в условиях дефицита воды (обзор) 53

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Чижиков В.Н., Шарифуллин Р.С. Пространственная изменчивость агрохимических показателей почв рисовых полей | 59 |
| Нартымов Д.В., Слюсарев В.Н. Оценка эффективности внедрения и применения геоинформационных систем в области изучения почвенного плодородия рисовых систем | 64 |
| Выборова Т. А., Лелявская В. Н., Безмутко С.В. Исследование фунгицидной активности препарата Импакт Супер в отношении пирикулярриоза риса | 70 |
| Меньших А.М., Федосов А.Ю., Янченко В.А., Фартуков В.А., Иванова М.И. Интеллектуальная система полива: цифровые решения в овощеводстве | 76 |
| Сурихина Т.Н. Азопкова М.А. Аналитический обзор производства чеснока в России | 85 |
| Зеленская О.В. «Зеленый супер рис» – новая стратегия экологизации рисоводства (обзор) | 92 |
| Общее собрание, посвященное 300-летию РАН, заседание Отделения сельскохозяйственных наук, награждения | 98 |

TABLE OF CONTENTS

SCIENTIFIC PUBLICATIONS

| | |
|--|----|
| Vakhrusheva N. I., Malyuchenko E. A. The application of molecular genetic methods to explore quality genes in rice grains (review) | 6 |
| Vakhrusheva N. I., Malyuchenko E. A., Ogly A. M. Analysis of rice breeding material for the presence of effective pyriculariasis resistance genes using molecular genetic methods | 10 |
| Suprunov A. I., Novichihin A. P., Bondarenko E. V., Tereshchenko A. V. Breeding of pop corn hybrids | 18 |
| Koroleva S. V., Shumilova E. V. Ways to increase the yield of seeds per unit area when developing technology for seed production of F ₁ sweet pepper hybrids created on the basis of CMS | 24 |
| Bukharov A. F., Sokolova L. M., Eremina N. A., Leunov V. I., Bukharova A. R. Inheritance of morphometric parameters of seeds with remote hybridization of carrots | 31 |
| Tumanyan N. G., Kumeiko T. B., Olyhovaya K. K. The quality of rice varieties selected by the FSC of Rice submitted for state export testing in 2019-2023, according to grain fracturing due to amylose content | 39 |
| Chizhikova S. S., Papulova E. Y., Tumanyan N. G. Technological signs of the quality of rice varieties with increased grain size of domestic breeding | 46 |
| Slabchenko A.S., Dzhamirze R.R. Rice cultivation under conditions of water shortage (review) | 53 |

TABLE OF CONTENTS

| | |
|--|----|
| Chizhikov V. N., Sharifullin R. S. Spatial variability of agrochemical indicators of rice fields soils | 59 |
| Nartymov A.V., Slusarev V.N. Assessment of the effectiveness of implementation and application of geoinformation systems in the field of studying soil fertility of rice systems | 64 |
| Vyborova T. A., Lelyavskaya V. N., Bezmutko S.V. Evaluation of the effectiveness of Impact Super fungicide against rice pyriculariasis | 70 |
| Menshikh A.M., Fedosov A. Y., Yanchenko V. A., Fartukov V.A., Ivanova M. I. Intelligent irrigation system: digital solutions in vegetable growing | 76 |
| Surikhina T. N., Azopkova M. A. Analytical review of garlic production in Russia | 85 |
| Zelenskaya O.V. “Green super rice” – a new strategy for ecologization of rice cultivation (review) | 92 |
| General meeting dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, meeting of the Department of Agricultural Sciences, awards | 98 |

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-6-9
УДК 633.18:575:547.558.611

**Вахрушева Н.И.,
Малюченко Е.А.**
г. Краснодар, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕНОВ КАЧЕСТВА РИСОВОГО ЗЕРНА (ОБЗОР)

В статье рассматривается вопрос генетических механизмов, влияющих на качество рисовой крупы. Среди качественных показателей как наиболее важный выделяют содержание крахмала в рисовом зерне, на его долю приходится 75-85 % сухой массы зерна. Содержание амилозы в крахмале является ключевым фактором, определяющим его пищевую и технологическую ценность. Этапы синтеза крахмала были изучены достаточно глубоко. Среди генов, связанных с синтезом крахмала, Waxy и ALK являются основными генами, регулирующими фактическое содержание амилозы, консистенцию геля и температуру клейстеризации. Исследования также подтверждают существенное влияние гена качества риса Waxy не только на пищевые показатели, но и на внешний вид рисового зерна. На сегодняшний день у риса идентифицировано по меньшей мере десять аллелей гена Waxy — Wx^a , Wx^b , Wx^{in} , Wx^{op} , Wx^{mq} , Wx^{mw} , Wx^v , Wx^{1-1} , Wx^{la} и wx . Недавние исследования указывают на перспективу создания новых вариантов гена Wx, путем скрещивания сортов, содержащих разные аллели Wx, поскольку возможно генерировать новые путем внутривидовой рекомбинации. Помимо этого в статье рассматриваются актуальные молекулярно-генетические методы работы с Waxy геном для MAS (Marker-Assisted Selection) такие как: CAPS-маркеры и SNP, tetra-primer ARMS-PCR. Также обсуждается применение технологии CRISPR / Cas для гена Waxy.

Ключевые слова: рис, Waxy ген, содержание амилозы, гены качества зерна, маркер-ориентированная селекция.

THE APPLICATION OF MOLECULAR GENETIC METHODS TO EXPLORE QUALITY GENES IN RICE GRAINS (REVIEW)

The article examines the question of genetic mechanisms affecting the quality of rice cereals. Among the qualitative indicators, the most important is the starch content in rice grains, which accounts for 75-85% of the dry weight of the grain. The amylose content in starch is a key factor determining its nutritional and technological value. The stages of starch synthesis have been studied in sufficient depth. Among the genes associated with starch synthesis, Waxy and ALK are the main genes regulating the actual amylose content, as well as gel consistency and gelatinization temperature. Studies also confirm the significant influence of the Waxy rice quality gene not only on nutritional indicators, but also on the appearance of rice grains. To date, at least ten alleles of the Waxy gene have been identified in rice — Wx^a , Wx^b , Wx^{in} , Wx^{op} , Wx^{mq} , Wx^{mw} , Wx^v , Wx^{1-1} , Wx^{la} and wx . Recent studies indicate the prospect of creating new variants of the Wx gene by crossing varieties containing different Wx alleles, since it is possible to generate new ones by intragenic recombination. In addition to these, the article discusses current molecular genetic methods of working with the Waxy gene for MAS (Marker-Assisted Selection) such as CAPS markers and SNP, tetra-primer ARMS-PCR. The use of CRISPR/Cas technology for the Waxy gene is also discussed.

Key words: rice, Waxy gene, amylose content, grain quality genes, marker-assisted selection.

Значение риса как продовольственной сельскохозяйственной культуры невозможно переоценить. Среди крупяных культур в России рис находится на 3 месте по популярности, что характеризует его как широко потребляемую и важную для продовольственной безопасности страны культуру. Учитывая улучшение технологий производства риса и повышение качества жизни, а также изменение стилей потребления и привычек, люди предъявляют более высокие требования к качеству риса [32]. Растет спрос на рис как продукт функционального питания, в связи с этим остро встает потребность в создании сортов риса, обладающего определенными кулинарными и диетическими свойствами: низким гликемическим индексом, антиоксидантными свойствами, имеющих высокое содержание белка, низкоамилозных и глютинозных сортов.

Несмотря на множество исследований, в которых предпринимались попытки улучшить качество риса, генетический механизм, контролирующий качество рисовой крупы, остается неоднозначным, а количество идентифицированных генов, связанных с качеством, остается незначительным [1].

Крахмал является наиболее важным компонентом семян риса, на его долю приходится 75-85 % сухой массы зерна. Содержание крахмала влияет на внешний вид, липкость, твердость, вкусовые качества и усвояемость вареного риса внешним видом, липкостью, твердостью, вкусовыми качествами и усвояемостью вареного риса [8]. Содержание амилозы в крахмале рисового зерна является ключевым фактором, определяющим его пищевую и технологическую ценность. Этот параметр является одним из основных технологических показате-

лей качества рисового зерна, как в мировой, так и в российской селекционной работе.

Целью настоящего обзора явилось изучение и актуализация современных научных знаний о влиянии генов качества на содержание амилозы в рисовом зерне и эффективных подходах к анализу и редактированию этого показателя.

Этапы синтеза крахмала были изучены достаточно глубоко. Среди генов, связанных с синтезом крахмала, *Waxy* и *ALK* являются основными генами, регулирующими фактическое содержание амилозы, а также консистенцию геля и температуру клейстеризации [25].

Однако влияние *ALK* гена на содержание амилозы в рисе остается неоднозначным по данным исследователей и существенно варьирует в зависимости от использованных генотипов риса [19]. На данный момент доказано, что *ALK* кодирует растворимую крахмалсинтазу II, которая контролирует температуру клейстеризации риса и оказывает существенное влияние на этот показатель [5].

Также исследователи выделяют влияние на синтез крахмала генов *SSI-3* и *FLO2* [7]. *FLOURY ENDOSPERM2 (FLO2)* – это один из генов нового кластера, содержащий тетрапептидный повторяющийся мотив. В *FLO2* выделена мутантная аллель *flo2*. Данная аллель снижает экспрессию генов, участвующих в синтезе, запасующего крахмала и запасных белков в эндосперме. При этом избыточная экспрессия *FLO2* существенно увеличивает размер зерен, что подтверждает значительное влияние *FLO2* на формирование зерна риса и качества крахмала [24].

Тем не менее многие исследователи сходятся во мнении, что *Waxy* ген является наиболее важным среди генов качества рисовой крупы, в большей мере за счет регулирования содержания амилозы [34]. Исследования также подтверждают существенное влияние гена качества риса *Waxy* не только на пищевые показатели, но и на внешний вид рисового зерна. Наиболее значимыми в этом являются аллели *Wx^b* и *Wx^a*, поскольку, именно они в исследованиях показывают наиболее высокие показатели по пищевым качествам и внешнему виду зерновки [28].

На сегодняшний день у риса идентифицировано, по меньшей мере, десять аллелей гена *Waxy* – *Wx^a*, *Wx^b*, *Wxⁱⁿ*, *Wx^{op}*, *Wx^{mq}*, *Wx^{mw}*, *Wx^{lv}*, *Wx¹⁻¹*, *Wx^{la}* и *wx*. Содержание амилозы, обусловленное этими аллелями, уменьшается в следующем порядке: *Wx^{lv}* (>25%), *Wx^a* (20-25%), *Wxⁱⁿ* (18-22%), *Wx^b* (15-18%), *Wx^{mw}* (10-14%), *Wx^{mq}* (8-12%), *Wx^{op}* (5-10%) и *wx* (AC<2%) [23]. Наиболее изученными, среди прочих, являются аллели *Wx^a*, *Wx^b*, *Wxⁱⁿ*, *Wx^{mw}*, *Wx^{op}*, *Wx^{hp}*, *Wx^{mq}*, *Wx¹⁻¹* и *wx* [2, 9, 14, 16, 17, 18, 21, 22, 27].

Средняя частота рекомбинаций в геноме риса оценивается как 1 Кб на 250-300 сМ, тогда как час-

тота рекомбинации в локусе *Waxy* примерно в 10 раз выше, чем среднее значение по всему геному [9].

Недавние исследования указывают на перспективу создания новых вариантов гена *Wx*, путем скрещивания сортов, содержащих разные аллели *Wx*, поскольку возможно генерировать новые путем внутривидовой рекомбинации. Идентифицированная в исследовании аллель *Wx^a*, является комбинацией мутаций двух аллелей гена *Waxy* – аллеля *Wx^b* с мутацией *Int1-1* и аллеля *Wxⁱⁿ* с мутацией *Ex6-62*. Она характеризуется заменой функциональных остатков и отличается по уровню мРНК *Wx* во время развития семян от основных аллелей данного гена (*Wx^a*, *Wx^b*, *Wxⁱⁿ*) [33].

QTL (картированные локусы количественных признаков) аллелей гена *Waxy* были идентифицированы с помощью маркерной селекции (MAS), что позволило ученым рассмотреть регулирование механизма содержания амилозы с помощью молекулярно-генетического подхода [24]. Маркерная селекция (MAS), при которой ДНК-маркеры используются для определения фенотипических или генотипических данных для селекционного материала, обладает большим потенциалом для повышения эффективности и точности традиционной селекции растений.

CAPS-маркеры, основанные на фрагментах ДНК, тесно сцепленных с изучаемыми генами, особенно полезны для маркер-ориентированной селекции и широко используются в селекционном отборе у сельскохозяйственных растений. CAPS-маркеры часто применяют при создании генетических карт, а также для точной локализации изучаемых генов. Данный тип маркеров был разработан для идентификации генотипа *Wx^{mq}* у риса. Результат этого исследования показывает, что данный тип маркеров может быть успешно использован для работы с другими аллелями гена *Wx* [4].

Тем не менее система Tetra-primer ARMS-PCR, в отличие от CAPS маркеров, разработанных в более ранних исследованиях, является более точным и экономически эффективным методом молекулярно-генетических исследований. Tetra-primer ARMS-PCR – это производный метод ПЦР, основанный на стандартной ПЦР и ARMS-PCR, который был разработан для выявления однонуклеотидных мутаций. По сравнению с традиционной ARMS-ПЦР, одновременная амплификация с использованием двух внешних и двух внутренних праймеров позволяет выявлять мутантные и нормальные аллели в одном ПЦР-анализе. Преимущество новых маркеров заключается в том, что они позволяют обнаружить ген *Wx^{hp}* на стадии прорастания, тем самым улучшая продуктивность и предсказуемость селекционного процесса. Новые маркеры представляет собой более подходящую систему для масштабного скрининга в программах MAS [13].

Развитие технологий позволило использовать однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) в качестве ДНК-маркеров для генотипирования растений [10]. За последние 10 лет методы маркирования на основе SNP были улучшены, что сократило затраты и время на обнаружение SNP. Возможность проще получать генотипические данные с миллионами SNP-маркеров с помощью GBS и SNP-чипов стала толчком для нового витка в изучении гена *Waxy*. Исследователи смогли выявить не только функциональные SNP замены у гена *Waxy*, отвечающие за отличия между мРНК, кодируемой разными аллелями *Wx*, но и обнаружить влияние некоторых нуклеотидных мутаций, являющихся скрытыми, а также более подробно изучить механизм регулирования содержания амилозы [6].

Следующим этапом в изучении *Waxy* гена стала возможность редактирования генома с помощью CRISPR / Cas. Эта система основана на адаптивной иммунной системе коротких палиндромных повторов (CRISPR) бактерий и архей, которая зависит от эндонуклеазной активности CRISPR-ассоциированных (Cas) белков [3]. Исследователи используют эти новые мощные технологии для точной модуляции содержания амилозы в зерне

риса. Недавние исследования по отключению гена *Wx* для получения клейкого риса демонстрируют возможность выведения новых линий с более низким содержанием амилозы при сохранении всех желаемых агрономических признаков [15, 31].

Точная настройка экспрессии гена *Waxy* позволяет (в основном с аллелем *Wx^b*) посредством редактирования регуляторных промоторов и модуляции активности фермента GBSSI, генерировать новые аллели количественных признаков. Применение линий с улучшенным качеством зерна, имеющих определенное содержание амилозы и клейстеризации риса, являются перспективными для использования в гибридной селекции [30, 29].

Таким образом, молекулярно-генетические методы являются наиболее значимыми в изучении гена *Waxy*, поскольку ученые добились существенных результатов в исследованиях, именно благодаря этому подходу. На данный момент существует достаточно исследований, применяющих молекулярно-генетические методы в работе с *Waxy* геном, в которых были изучены его аллели и механизмы кодирования белков, отвечающих за аллельное разнообразие, а так же SNP замены, влияющие на это.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Aluko, G. QTL mapping of grain quality traits from the interspecific cross *Oryza sativa* × *O. glaberrima* / G. Aluko, C. Martinez, J. Tohme, C. Castano, C. Bergman, J. H. Oard // *Theor. Appl. Genet.* – 2004. - № 109. - P. 630–639.
2. Ando, I. Genetic analysis of the low-amylose characteristics of rice cultivars Oborozuki and Hokkai-PL9 / I. Ando, H. Sato, N. Aoki, Y. Suzuki, H. Hirabayashi, M. Kuroki, H. Shimizu, T. Ando, Y. Takeuchi // *Breed. Sci.* – 2010. - № 60. - P. 187–194.
3. Barrangou, R. CRISPR provides acquired resistance against viruses in prokaryotes / R. Barrangou, C. Fremaux, H. Deveau, M. Richards, P. Boyaval, S. Moineau, D. A. Romero, P. Horvath // *Science.* – 2007.
4. Chen, T. A cleaved amplified polymorphic sequence marker to detect variation in *Wx* locus conditioning translucent endosperm in rice / T. Chen, Y. D. Zhang, L. Zhao, Z. Zhu, J. Lin, S. B. Zhang, C. L. Wang // *Rice Sci.* – 2009. - № 16. - P. 106–110.
5. Gao, Z. Map-based cloning of the *ALK* gene, which controls the gelatinization temperature of rice / Z. Gao, D. Zeng, X. Cui, Y. Zhou, M. Yan, D. Huang, J. Li, Q. Qian // *Sci China C Life Sci.* – 2003. - № 46 (6). - P. 661–668.
6. Chen, H. A high-density SNP genotyping array for rice biology and molecular breeding / H. Chen, W. Xie, H. He, H. Yu, W. Chen, J. Li, R. Yu, Y. Yao, W. Zhang, Y. He, X. Tang, F. Zhou, X. Deng, Q. Zhang // *Molecular plant.* – 2014. - № 7(3). - P. 541–553.
7. Hsu, Y. C. Genetic factors responsible for eating and cooking qualities of rice grains in a recombinant inbred population of an inter-subspecific cross / Y. C. Hsu, M. C. Tseng, Y. P. Wu, M. Y. Lin, F. J. Wei, K. K. Hwu, Y. I. Hsing, Y. R. Lin // *Molecular breeding : new strategies in plant improvement.* – 2014. - № 34(2). – P. 655–673.
8. Huang, L. Improving rice eating and cooking quality by coordinated expression of the major starch synthesis-related genes, *SSII* and *Wx*, in endosperm / L. Huang, Z. Gu, Z. Chen, J. Yu, R. Chu, H. Tan, D. Zhao, X. Fan, C. Zhang, Q. Li // *Plant molecular biology.* - 2021. - № 106(4-5). – P. 419–432.
9. Inukai, T. Analysis of intragenic recombination at *wx* in rice: Correlation between the molecular and genetic maps within the locus / T. Inukai, A. Sako, H. Y. Hirano, Y. Sano // *Genome.* - 2000. - № 43. – P. 589–596.
10. Lander, E. S. The new genomics: global views of biology / E. S. Lander // *Science.* - № 274. – 1996. – P. 536–539.
11. Li, Y. Natural variation in *GS5* plays an important role in regulating grain size and yield in rice. / Y. Li, C. Fan, Y. Xing, Y. Jiang, L. Luo, L. Sun // *Nat. Genet.* – 2011. - № 43 - P. 1266–1269.
12. Li, Y. *Chalk5* encodes a vacuolar H⁺-translocating pyrophosphatase influencing grain chalkiness in rice / Y. Li, C. Fan, Y. Xing, P. Yun, L. Luo, B. Peng // *Nat. Genet.* – 2014. - № 46. - P. 398–404.
13. Liu, Y. Development and validation of a PCR-based functional marker system for identifying the low amylose content-associated gene *Wxhp* in rice / Y. Liu, A. Zhang, F. Wang, J. Wang, J. Bi, D. Kong, F. Zhang, L. Luo, G. Liu, X. Yu // *Breed Sci.* - 2019. - № 69(4). – P. 702–706.
14. Liu, L. L. Identification and characterization of a novel *Waxy* allele from a Yunnan rice landrace / L. L. Liu, X. D. Ma, S. J. Liu, C. L. Zhu, J. Ling, Y. H. Wang, S. Yi, Y. L. Ren, H. Dong, L. M. Chen // *Plant Mol. Biol.* - 2009. - № 71. – P. 609–626.
15. Ma, X. Robust CRISPR/Cas9 System for Convenient, High-Efficiency Multiplex Genome Editing in Monocot and Dicot Plants / X. Ma, Q. Zhang, Q. Zhu, W. Liu, Y. Chen, R. Qiu, B. Wang, Z. Yang, H. Li, Y. Lin, Y. Xie, R. Shen, S. Chen, Z. Wang, Y. Chen, J. Guo, L. Chen, X. Zhao, Z. Dong, Y. G. Liu // *Mol Plant.* - 2015. - № 8(8). – P. 1274–1284.

16. Mao, T. Development of PCR functional markers for multiple alleles of Wx and their application in rice/ T.Mao, Z.Y.Li, L.Z.Yu, Z.J. Xu// *Acta Agron. Sin.* - 2017. - № 43. - P. 1715–1723.
17. Mikami, I. Altered tissue-specific expression at the Wx gene of the opaque mutants in rice/ I.Mikami, M.Aikawa, H.Y. Hirano, Y. Sano// *Euphytica.* - 1999. - № 105. - P. 91–97.
18. Mikami, I. Allelic diversification at the wx locus in landraces of Asian rice/ I.Mikami, N. Uwatoko, Y. Ikeda, J. Yamaguchi, H.Y. Hirano, Y. Suzuki, Sano Y. // *Theor. Appl. Genet.* - 2008. - № 116. - P. 979–989.
19. Nakamura, Y. Essential amino acid of starch synthase IIa differentiate amylopectin structure and starch quality between japonica and indica rice varieties/ Y. Nakamura, P. B. Jr. Francisco, Y. Hosaka, A. Sato, T. Sawada, A. Kubo, N. Fujita // *Plant Mol. Biol.* - 2005. - № 58. - P. 213–227.
20. Nelson, J.C. Mapping QTL main and interaction influences on milling quality in elite US rice germplasm/ J. C. Nelson, A. M. McClung, R. G. Fjellstrom, K. A. Moldenhauer, E. Boza, F. Jodari// *Theor. Appl. Genet.* - 2011. - № 122. - P. 291–309.
21. Sano, Y. Differential regulation of waxy gene expression in rice endosperm / Y. Sano// *Theor. Appl. Genet.* - 1984. - № 68. - P. 467–473.
22. Sato, H. Molecular characterization of Wxmq, a novel mutant gene for low-amylose content in endosperm of rice (*Oryza sativa* L.). / H. Sato, Y. Suzuki, M. Sakai, T. Imbe// *Breed. Sci.* - 2002. - № 52. - P. 131–135.
23. Shao, Y. Allelic variations of the Wx locus in cultivated rice and their use in the development of hybrid rice in China. / Y. Shao, Y. Peng, B. Mao, Q. Lv, D. Yuan, X. Liu, B. Zhao // *PLoS One.* - 2020. - № 15(5). doi:10.1371/journal.pone.0232279
24. She, K.C. A novel factor FLOURY ENDOSPERM2 is involved in regulation of rice grain size and starch quality. / K. C. She, H. Kusano, K. Koizumi, H. Yamakawa, M. Hakata, T. Imamura, M. Fukuda, N. Naito, Y. Tsurumaki, M. Yaeshima, T. Tsuge, K. Matsumoto, M. Kudoh, E. Itoh, S. Kikuchi, N. Kishimoto, J. Yazaki, T. Ando, M. Yano, T. Aoyama, T. Sasaki, H. Satoh, H. Shimada // *Plant Cell.* - 2010. - № 22(10). - P. 3280–3294.
25. Tian, Z. Allelic diversities in rice starch biosynthesis lead to a diverse array of rice eating and cooking qualities. / Z. Tian, Q. Qian, Q. Liu, M. Yan, X. Liu, C. Yan, G. Liu, Z. Gao, S. Tang, D. Zeng, Y. Wang, J. Yu, M. Gu, J. Li // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* - 2009. - № 106(51). <https://doi.org/10.1073/pnas.0912396106>
26. Wang, X. New Candidate Genes Affecting Rice Grain Appearance and Milling Quality Detected by Genome-Wide and Gene-Based Association Analyses. / X. Wang, Y. Pang, C. Wang, K. Chen, Y. Zhu, C. Shen, J. Ali, J. Xu, Z. Li / *Frontiers in plant science.* - 1998. - № 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01998>
27. Wang, Z.Y. The amylose content in rice endosperm is related to the post-transcriptional regulation of the waxy gene / Z.Y. Wang, F.Q. Zheng, G.Z. Shen, J.P. Gao, D.P. Snustad, M.G. Li, J.L. Zhang, M.M. Hong// *Plant J.* - 1995. - № 7. - P. 613–622.
28. Xia, D. Effects of Wx Genotype, Nitrogen Fertilization, and Temperature on Rice Grain Quality/ D.Xia, Y.Wang, Q.Shi, B.Wu, X.Yu, C.Zhang, Y.Li, P.Fu, M.Li, Q.Zhang, Q.Liu, G.Gao, H.Zhou, Y. He // *Front Plant Sci.* - 2022. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.901541>
29. Xu, Y. Fine-tuning the amylose content of rice by precise base editing of the Wx gene/ Y.Xu, Q.Lin, X.Li, F.Wang, Z.Chen, J.Wang, W.Li, F.Fan, Y.Tao, Y.Jiang, X.Wei, R.Zhang, Q. H.Zhu, Q.Bu, J.Yang, C.Gao// *Plant Biotechnol J.* - 2021. - № (1). - P.11-13.
30. Zeng, D. Quantitative regulation of Waxy expression by CRISPR/Cas9-based promoter and 5'UTR-intron editing improves grain quality in rice/ D.Zeng, T.Liu, X.Ma, B.Wang, Z.Zheng, Y.Zhang, X.Xie, B.Yang, Z.Zhao, Q.Zhu, Y.G.Liu // *Plant Biotechnol J.* - 2020. - № 12. - P. 2385–2387.
31. Zhang, J. Generation of new glutinous rice by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the Waxy gene in elite rice varieties / J.Zhang, H.Zhang, J. R.Botella, J. K.Zhu // *J Integr Plant Biol.* - 2018. - № 5. - P. 369–375.
32. Zhang, Q. Strategies for developing Green Super Rice. / Q. Zhang // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* - 2007. - 104. - P. 16402–16409.
33. Zhang, C. Wxlv, the ancestral allele of rice waxy gene. / C. Zhang, J. Zhu, S. Chen, X. Fan, Q. Li, Y. Lu, M. Wang, H. Yu, C. Yi, S. Tang, M. Gu, Q. Liu// *Mol. Plant.* - 2019. - № 12. - P. 1157–1166.
34. Zhou, H. The origin of Wxla provides new insights into the improvement of grain quality in rice. / H.Zhou, D.Xia, D.Zhao, Y.Li, P.Li, B.Wu, G.Gao, Q.Zhang, G.Wang, J.Xiao, X.Li, S.Yu, X.Lian, Y.He // *J Integr Plant Biol.* - 2021. - № 5. - P. 878–888.

Надежда Игоревна Вахрушева

Младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии
E-mail: oh.vahrusheva@yandex.ru

Nadezhda Igorevna Vahrusheva

Junior Researcher at the Laboratory of Biotechnology and Molecular Biology
E-mail: oh.vahrusheva@yandex.ru

Евгения Александровна Малюченко

Старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии
E-mail: malyuchenko.evgeniya@mail.ru

Evgeniya Alexandrovna Malyuchenko

Senior Researcher at the Laboratory of Biotechnology and Molecular Biology
E-mail: malyuchenko.evgeniya@mail.ru

Все: ФГБНУ «Федеральный научный центр риса»
350921, г. Краснодар, пос. Белозерный, 3

All: FSBSI «FSC of rice»
3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-10-17
УДК 631.52:581.2:633.18

Вахрушева Н.И.,
Малюченко Е.А., канд. биол. наук,
Оглы А. М.
г. Краснодар, Россия

АНАЛИЗ СЕЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА РИСА НА НАЛИЧИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ПИРИКУЛЯРИОЗУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Целью исследования является идентификация доминантной аллели таргетных генов устойчивости риса к пирикулярриозу (*Pi-b*, *Pi-z*, *Pi-ta*) у 40 сортов образцов риса конкурсного испытания. Выведение сортов, несущих комбинацию генов устойчивости к пирикулярриозу рассматривается как одна из наиболее эффективных стратегий борьбы с заболеванием, поскольку применение фунгицидов является малоэффективным и дорогостоящим методом борьбы с заболеванием. Анализ проводился с помощью молекулярно-генетических методов с применением классического ПЦР и ПЦР в реального времени. ПЦР проводили по стандартным методикам с выполнением предварительной оптимизации экспериментальных параметров. Для идентификации гена *Pi-b* использовали кодоминантный маркер, для генов *Pi-z* и *Pi-ta* – доминантные. Электрофорез продуктов амплификации проводили в 2 % агарозном геле. Визуализацию результатов электрофоретического разделения продуктов ПЦР проводили на трансиллюминаторе с использованием бромистого этидия (*BrEtd*). В результате проведенной работы выделено 6 сортовых образцов, несущих в себе как минимум один из целевых генов устойчивости к пирикулярриозу. Идентифицировано 2 сортовых образца, несущих 2 гена устойчивости: *Pi-b* и *Pi-z*; 1 сортовой образец несущий доминантную аллель генов *Pi-z* и *Pi-ta*. Данные сортовые образцы являются наиболее ценным селекционным материалом. Также было идентифицировано 3 образца с 1 геном устойчивости: 1 сортовой образец – доминантная гомозигота по гену *Pi-b* и 2 сортовых образца с геном *Pi-z*. Эти сортовые образцы в дальнейшем будут использованы в селекционной работе как селекционные ресурсы для создания устойчивых к пирикулярриозу сортов риса.

Ключевые слова: рис, сортовой образец, молекулярное маркирование, пирикулярриоз, устойчивость.

ANALYSIS OF RICE BREEDING MATERIAL FOR THE PRESENCE OF EFFECTIVE PYRICULARIASIS RESISTANCE GENES USING MOLECULAR GENETIC METHODS

The purpose of the study is to identify the dominant allele of targeted rice resistance genes to pyriculariasis (*Pi-b*, *Pi-z*, *Pi-ta*) in 40 varieties of rice in a competitive trial. The breeding of varieties carrying a combination of pyriculariasis resistance genes is considered as one of the most effective strategies for combating the disease, since the use of fungicides is an ineffective and expensive method of combating this disease. The analysis was carried out using molecular genetic methods using classical PCR and real-time PCR. PCR was performed according to standard methods, with preliminary optimization of experimental parameters. A codominant marker was used to identify the *Pi-b* gene, while dominant markers were used for the *Pi-z* and *Pi-ta* genes. Electrophoresis of amplification products was performed in 2% agarose gel. Visualization of the results of electrophoretic separation of PCR products was performed on a transilluminator using ethidium bromide (*BRTD*). As a result of the work carried out, 6 varietal samples were identified that carry at least one of the target genes for resistance to pyriculariasis. 2 cultivars carrying 2 resistance genes have been identified: *Pi-b* and *Pi-z*; 1 cultivar carrying the dominant allele of the *Pi-z* and *Pi-ta* genes. These varietal samples are the most valuable breeding material. 3 samples with 1 resistance gene were also identified: 1 varietal sample – dominant homozygote for the *Pi-b* gene and 2 varietal samples with the *Pi-z* gene. The selected cultivars will later be used in breeding work to obtain rice varieties resistant to pyriculariasis.

Keywords: rice, variety sample, molecular marking, rice blast, resistance.

Введение

Рис является одной из основных зерновых культур на планете, занимая третье место по посевным площадям после пшеницы и кукурузы. Его выращивают в 118 странах мира. Примерно половина населения земного шара употребляет рис как основной продукт питания [2]. Главными критериями при создании новых сортов риса является их урожайность. На этот показатель существенно

влияют различные вредители и болезни [5].

Основным заболеванием, представляющим угрозу из-за широкого распространения и возможности потенциального поражения даже при благоприятных условиях роста растений риса является пирикулярриоз, вызываемый грибом *Pyricularia oryzae* Cavara. Пирикулярриоз поражает рис на всех стадиях развития растения, приводя к ежегодному недобору урожая примерно на 10-30 %. При этом потери могут дости-

гать 100 % при тяжелых случаях заражения [6].

Выведение сортов, несущих комбинацию генов Pi (гены устойчивости к пирикулярриозу), рассматривается как одна из наиболее эффективных стратегий борьбы с заболеванием, поскольку применение фунгицидов является малоэффективным и дорогостоящим методом борьбы. Обширные генетические исследования привели к идентификации более 100 генов устойчивости к пирикулярриозу у риса и способствовали созданию молекулярно-маркерных методов для идентификации этих генов [5].

Цель исследований

Изучить 40 сортообразцов конкурсного испытания с целью идентификации целевых генов устойчивости риса к пирикулярриозу: - Pi-ta, Pi-b, Pi-z.

Материалы и методы

Молекулярно-генетическое исследование проводили у 40 сортообразцов конкурсного испытания. Целевыми генами устойчивости к пирикулярриозу служили гены Pi-ta, Pi-b, Pi-z.

Для идентификации гена Pi-z применяли внутригенный маркер Z 565962, сиквенс которого взят из общедоступной базы данных NSBI. Для генов Pi-b и Pi-ta использовали молекулярные маркеры,

созданные в лаборатории биотехнологии и молекулярной биологии ФГБНУ «ФНЦ риса» [4, 3].

Для выделения ДНК из образцов использовали семидневные проростки, полученные путем инкубации на увлажненной фильтровальной бумаге, при температуре 25-27 °С. Выделение ДНК проводили с использованием коммерческих наборов на станции для автоматического выделения нуклеиновых кислот «Nexor 32M».

Постановку ПЦР осуществляли по стандартным методикам с выполнением предварительной оптимизации экспериментальных параметров на амплификаторе в режиме реального времени Quant Studio 5[1].

Электрофорез продуктов амплификации проводили в 2 % агарозном геле, визуализацию результатов электрофоретического разделения продуктов ПЦР на трансиллюминаторе с использованием бромистого этидия (BrEtd).

Результаты и обсуждение

Для оценки образцов на устойчивость к пирикулярриозу по гену Pi-b использовали ПЦР анализ с последующим электрофоретическим разделением продукта в агарозном геле, результаты которого представлены на рисунках 1-3.



Рисунок 1. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-b. Исследуемые образцы 1-15

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K- – отрицательный контроль; K+ – положительный контроль; 1-15 – исследуемые образцы.

Поскольку в исследовании использовали кодоминантный внутригенный маркер Pi-b, то на электрофореграмме видна как рецессивная аллель гена, так и доминантная. Ген Pi-b присутствует в образцах под номером 6, 11, 22. При этом все образцы являются доминантными гомозиготами, так как имеют только доминантную аллель.

Гены Pi-ta и Pi-z были проанализированы с помощью доминантных маркеров с применением ПЦР в реальном времени. Для контроля точности анализа был использованы ранее маркированные сорта, несущие ген Pi-z и Pi-ta соответственно.

Результат амплификации гена Pi-z исследуемых образцов и положительного контроля представлен на рисунке 4.

Из рисунка 4 следует, что в пяти образцах (№ 6, 7, 22, 23, 29), помимо контроля (отмечен ярко синим цветом) присутствует ген Pi-z. На графике кривой амплификации также видно, что парабола контрольного образца соответствует параболам исследуемых образцов, несущих ген Pi-z.

Для исключения ложноположительных результатов на рисунке 5 представлена кривая плавления для маркера Pi-z.



Рисунок 2. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-b. Исследуемые образцы 16-30

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K- - отрицательный контроль; K+ - положительный контроль; 16-30 – исследуемые образцы.

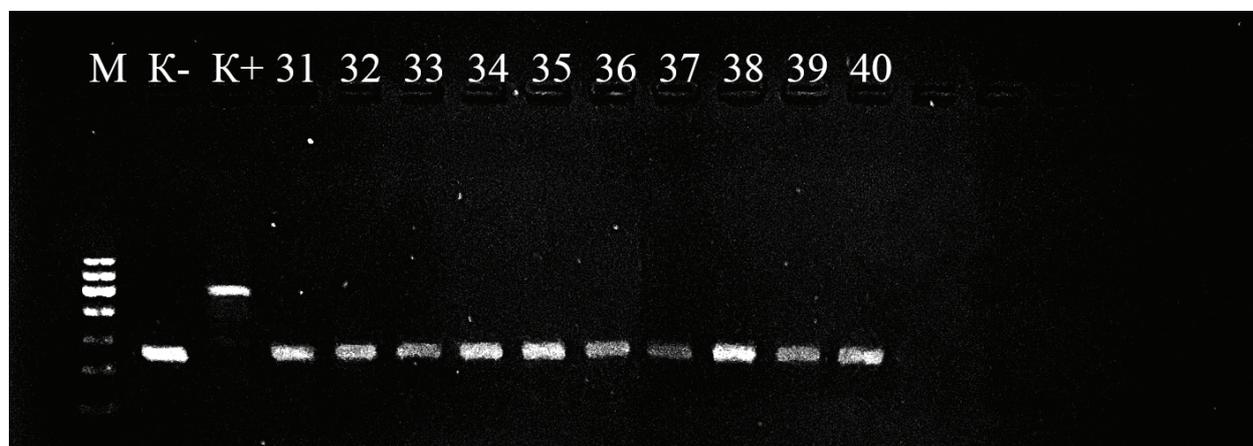


Рисунок 3. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-b. Исследуемые образцы 31-40

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K- - отрицательный контроль; K+ - положительный контроль; 31-40 – исследуемые образцы.

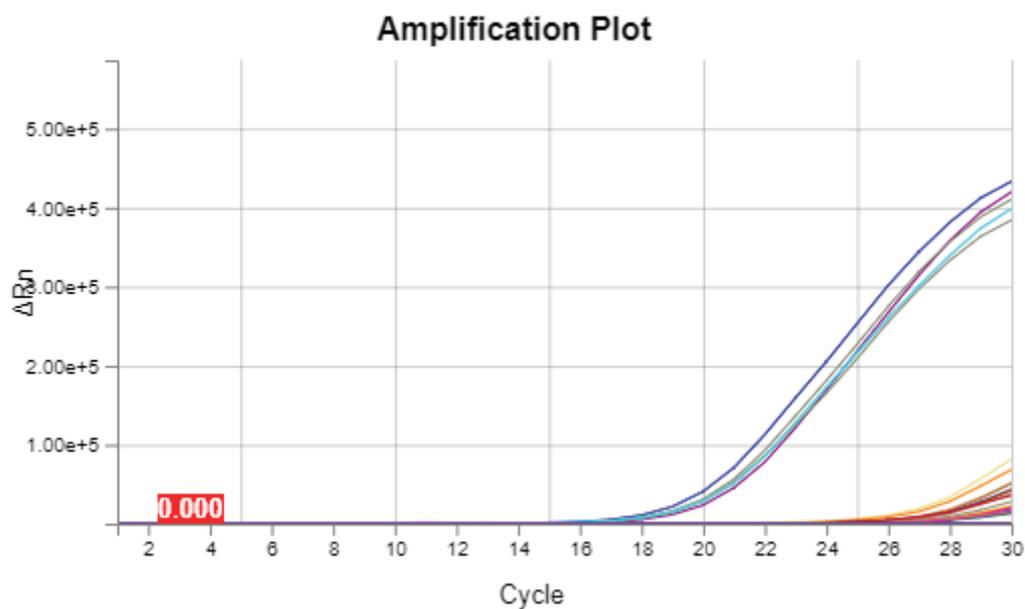


Рисунок 4. Кривая амплификации доминантного маркера гена Pi-z

Примечание: ΔRn – количество продукта; Cycle - количество циклов.

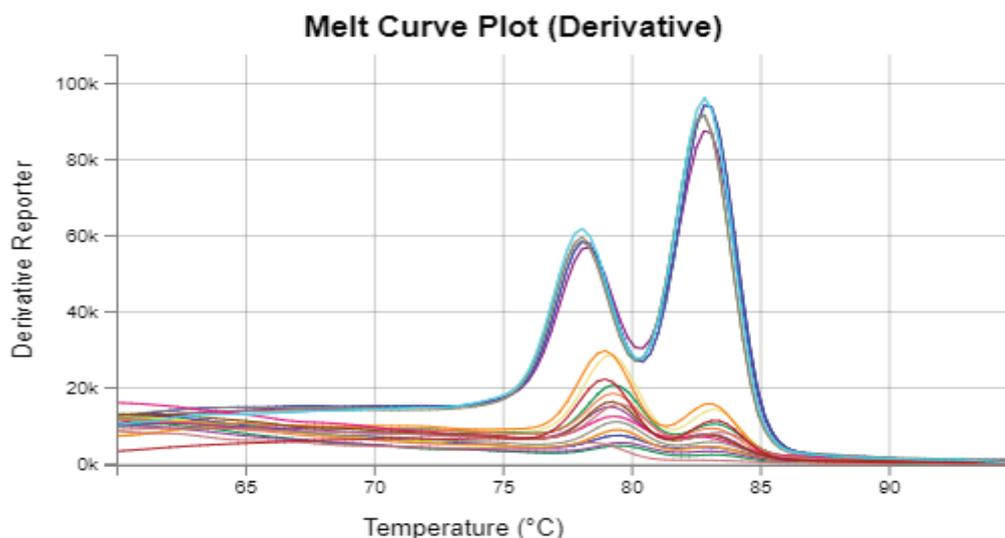


Рисунок 5. Кривая плавления доминантного маркера гена Pi-z

Примечание: Derivative reporter – производная флюоресценции ; Temperature - температура.

Из рисунка 5 следует, что кривая плавления контрольного образца совпадает с кривой плавления образцов, несущих доминантную аллель гена Pi-z, что подтверждает положительный результат детекции гена Pi-z в образцах под номером 6, 7,

22, 23, 29.

В качестве контроля ПЦР анализа на наличие гена Pi-z был проведен электрофорез продукта ПЦР в агарозном геле. Результаты представлены на рисунках 4-6.



Рисунок 6. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-z. Исследуемые образцы 1-15

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K+ - положительный контроль; 1-15 – исследуемые образцы.

Как можно видеть, данные электрофоретического разделения совпадают с данными ПЦР в реальном времени и свидетельствуют о наличии доминантной аллели гена Pi-z в образцах № 6, 7, 22, 23, 29.

Идентификацию гена Pi-ta проводили в режиме реального времени. Кривая амплификации гена Pi-ta для исследуемых образцов и положительного контроля представлена на графике 3.

Кривая амплификации свидетельствует о нали-

чии гена Pi-ta в образце под номером 23. В качестве контроля использовала ранее исследованный сорт, несущий доминантную аллель гена Pi-ta (соответствует кривой желтого цвета). Как видно из рисунка 9 прирост продукта реакции совпадает у образца № 23 (кривая серого цвета) и контрольного образца.

Для исключения ложноположительного результата на рисунке 10 были сопоставлены кривые плавления исследуемых образцов и контроля.



Рисунок 7. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-z. Исследуемые образцы 16-30

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K+ - положительный контроль; 16-30 – исследуемые образцы.



Рисунок 8. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-z. Исследуемые образцы 31-40

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K+ - положительный контроль; 31-40 – исследуемые образцы.

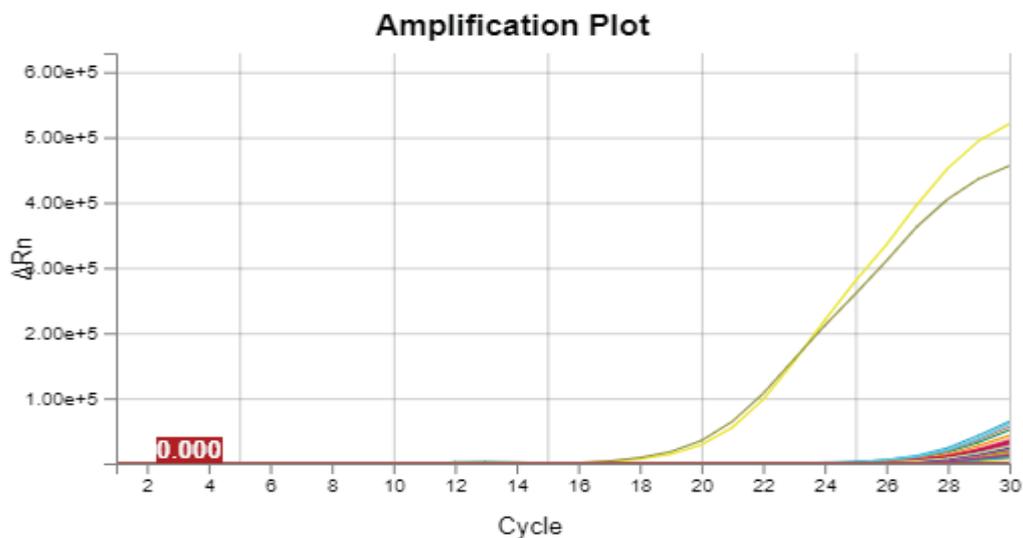


Рисунок 9. Кривая амплификации доминантного маркера гена Pi-ta

Примечание: ΔRn – количество продукта; Cycle - количество циклов.

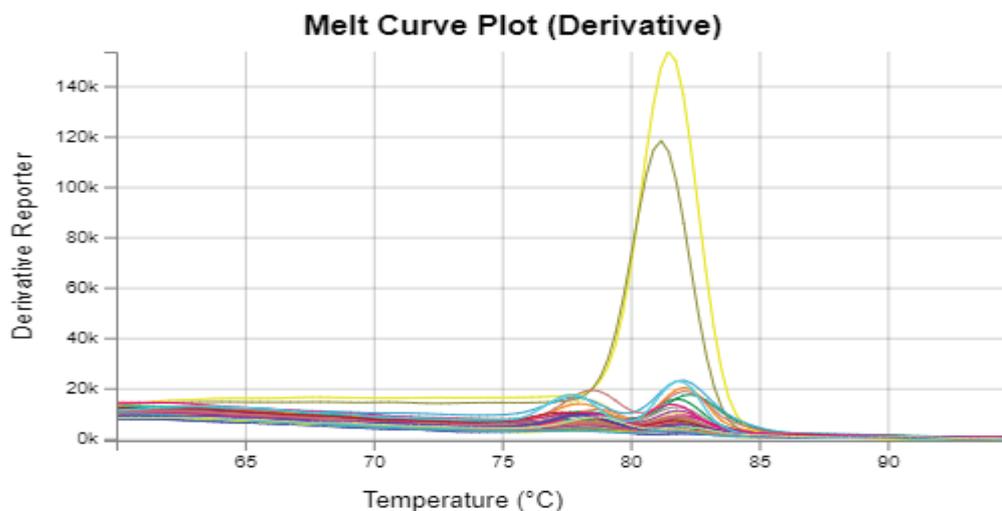


Рисунок 10. Кривая плавления доминантного маркера гена Pi-ta

Примечание: Derivative reporter – производная флуоресценции; Temperature – температура.

На рисунке 10 кривые плавления контрольного образца и исследуемого образца № 23 имеют высокий пик. Тем не менее, положение пика для контроля и образца № 23 не совпадает.

Поскольку остается вероятность ложнополо-

жительного результата детекции гена Pi-ta был проведен электрофорез. Результаты электрофоретического разделения продукта ПЦР для гена Pi-ta представлены на рисунках 7-9.



Рисунок 11. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-ta. Исследуемые образцы 1-15

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K+ – положительный контроль; 1-15 – исследуемые образцы.



Рисунок 12. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-ta. Исследуемые образцы 16-30

Примечание: M – маркер молекулярного веса ДНК; K+ – положительный контроль; 16-30 – исследуемые образцы.

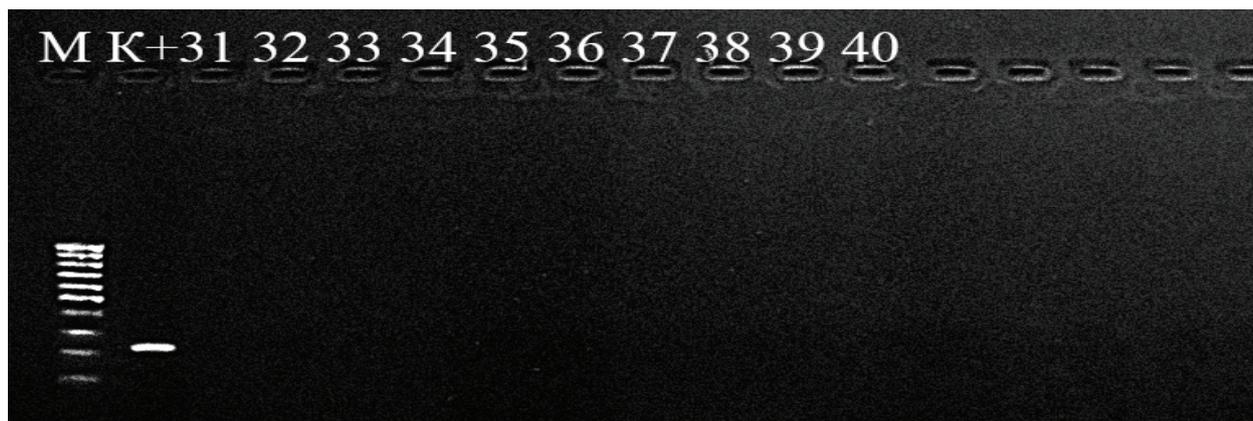


Рисунок 13. Электрофореграмма ПЦР анализа гена Pi-ta. Исследуемые образцы 31-40

Примечание: М – маркер молекулярного веса ДНК; К+ - положительный контроль; 31-40 – исследуемые образцы.

Результаты электрофореза свидетельствуют о наличии гена Pi-ta в образце № 23, что совпадает с данными real-time ПЦР.

Выводы

В ходе молекулярно-генетического исследования образцов на устойчивость к пирикулярриозу

было идентифицировано 3 образца, несущих 2 гена устойчивости: Pi-b и Pi-z - № 6, 22; Pi-z и Pi-ta - № 23. Образцы являются наиболее ценным селекционным материалом. Так же было идентифицировано 3 образца с 1 геном устойчивости: для № 11 – Pi-b, для № 7, 29 – Pi-z.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каюмов, А.Р. Молекулярный анализ генома. Учебно-методическое пособие / А.Р. Каюмов – Казань: КФУ, 2016. - С. 60.
2. Малышева, Н. Н. Состояние и перспективы развития рынка риса в России / Н. Н. Малышева // Научный журнал КубГАУ. - Краснодар, 2016. - № 122.
3. Мухина, Ж.М. Создание внутригенных молекулярных маркеров риса для повышения эффективности селекционного и семеноводческого процессов / Ж. М. Мухина, С. В. Токмаков, Ю. А. Мягих, Е. В. Дубина // Научный журнал КубГАУ. - Краснодар, 2011. - № 67.
4. Супрун, И.И. Создание внутригенного ДНК-маркера гена устойчивости к пирикулярриозу риса Pi-b и его использование в практической селекции/ И. И. Супрун, Е. Т. Ильницкая, Ж. М. Мухина // Сельскохозяйственная биология. - 2007. - № 5.- С. 63-66.
5. Alam, S. Superior haplotypes towards the development of blast and bacterial blight-resistant rice./ S. Alam, K. T. Sundaram, U. M. Singh, M. Srinivas Prasad, G. S. Laha, P. Sinha, V. K. Singh // Front Plant Sci. – 2024. doi: 10.3389/fpls.2024.1272326. PMID: 38481398; PMCID: PMC10932988.
6. Devanna, B.N. Understanding the dynamics of blast resistance in Rice-Magnaporthe oryzae interactions. / B. N. Devanna, P. Jain, A. U. Solanke, A. Das, S. Thakur, P. K. Singh // J. Fungi. – 2022. – 8. – 584. doi: 10.3390/jof8060584

REFERENCES

1. Kayumov, A.R. Molecular analysis of the genome. Educational and methodological manual / A.R. Kayumov – Kazan: KFU, 2016. - P. 60.
2. Malysheva, N. N. The state and prospects of development of the rice market in Russia / N. N. Malysheva // Scientific journal of KubGAU. - Krasnodar, 2016.- № 122.
3. Mukhina, J.M. Creation of intragenic molecular markers of rice to increase the efficiency of selective and seed-growing processes / J. M. Mukhina, S. V. Tokmakov, Yu. A. Soft, E. V. Dubina // Scientific Journal of KubGAU. - Krasnodar, 2011. - № 67.
4. Suprun, I.I. Creation of an intragenic DNA marker of the Pi-b rice pyriculariasis resistance gene and its use in practical breeding/ I. I. Suprun, E. T. Ilnitskaya, J. M. Mukhina // Agricultural biology. - 2007. - № 5.- P. 63-66.
5. Alam, S. Superior haplotypes towards the development of blast and bacterial blight-resistant rice./ S. Alam, K. T. Sundaram, U. M. Singh, M. Srinivas Prasad, G. S. Laha, P. Sinha, V. K. Singh // Front Plant Sci. – 2024. doi: 10.3389/fpls.2024.1272326. PMID: 38481398; PMCID: PMC10932988.
6. Devanna, B.N. Understanding the dynamics of blast resistance in Rice-Magnaporthe oryzae interactions. / B. N. Devanna, P. Jain, A. U. Solanke, A. Das, S. Thakur, P. K. Singh // J. Fungi. – 2022. – 8. – 584. doi: 10.3390/jof8060584

Надежда Игоревна Вахрушева

Младший научный сотрудник лаборатории
биотехнологии и молекулярной биологии
E-mail: oh.vahrusheva@yandex.ru

Евгения Александровна Малюченко

Старший научный сотрудник лаборатории
биотехнологии и молекулярной биологии
E-mail: malyuchenko.evgeniya@mail.ru

Андрей Михайлович Оглы

Заведующий отделом селекции

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, г. Краснодар, пос. Белозерный, 3

Nadezhda Igorevna Vakhrusheva

Junior Researcher at the Laboratory
of Biotechnology and Molecular Biology
E-mail: oh.vahrusheva@yandex.ru

Evgeniya Alexandrovna Malyuchenko

Senior Researcher at the Laboratory
of Biotechnology and Molecular Biology
E-mail: malyuchenko.evgeniya@mail.ru

Andrey Mikhailovich Ogly

Head of the Breeding Department

All: FSBSI «FSC of rice»
3, Belozerniy, Krasnodar, 350921, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-18-23
УДК: 631. 527: 633. 15

Супрунов А.И. д-р с.-х. наук,
Новичихин А.П.,
Бондаренко Е.В.,
Терещенко А.В.
г. Краснодар, Россия

СЕЛЕКЦИЯ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ ЛОПАЮЩЕЙСЯ

У сельхозтоваропроизводителей и потребителей Российской Федерации существует большая потребность в семенах и товарном зерне кукурузы лопающей. В Государственном реестре селекционных достижений на 2023 год гибриды представлены весьма небольшим количеством, что крайне недостаточно для растущего рынка. В статье показана зерновая продуктивность и технологические качества зерна 130 новых гибридов кукурузы лопающей селекции центра за два года исследований. Исходным материалом служили новые линии кукурузы лопающей, полученные из 100 сортообразцов из десяти стран. В результате проведенных исследований были выделены лучшие новые гибриды с зерновой продуктивностью 3,7-4,2 т/га в 2022 году, и 5,1-5,8 т/га в 2023 году. Поскольку результаты технологического анализа являются одним из ключевых факторов при оценке потенциала новых гибридов кукурузы лопающей, особое внимание уделяется подготовке и хранению селекционного материала, включая процесс выравнивания влажности зерна во всех исследуемых пробах или образцах. Коэффициент увеличения объема (КУО) зерна у кукурузы лопающей кроме генотипических особенностей линий во многом также зависит от способа его сушки, хранения, скорости нагрева и температуры жаровни. По результатам проведенных нами исследований было установлено, что условия года изучения гибридов не оказали существенного влияния на технологические качества зерна, показатель КУО лучших гибридов варьировал на уровне 1:39-1:41. Критерий оценки выделенных гибридов: «хорошая» и «отличная». Среди изученных гибридов большинство по форме готового раскрытого зерна соответствовало типу «бабочка», в то время как у гибрида «Краснодарский лопающий 406» раскрытое зерно было типа «карамель».

Ключевые слова: линии, гибриды, кукуруза лопающая, технологические качества зерна, зерновая продуктивность.

BREEDING OF POP CORN HYBRIDS

Agricultural producers and consumers of the Russian Federation have a great need for seeds and commercial grain of bursting corn. In the State Register of Breeding Achievements for 2023, these hybrids are represented by a very small number, which is extremely insufficient for a growing market. The article shows the grain productivity and technological qualities of grain of new hybrids of pop corn breeding center. The starting material was new lines of pop corn obtained from 100 varieties from ten countries. As a result of the research, the best new hybrids with grain productivity of 3.7-4.2 t/ha in 2022, and 5.1-5.8 t/ha in 2023 were identified. Since the results of technological analysis are one of the key factors in assessing the potential of new pop corn hybrids, special attention is paid to the preparation and storage of breeding material, including the process of equalizing grain moisture in all studied samples. Volume expansion factor (VEF) in grain of pop corn, in addition to the genotypic characteristics of the lines, depends on the method of drying, storage, heating rate and fryer temperature. Based on the results of our research, we found that a year of studying hybrids did not have a significant impact on the technological qualities of grain, index VEF of the best hybrids varied at the level of 1:39-1:41. The criterion for evaluating the selected hybrids is "good" and "excellent." Among the hybrids, the majority in the shape of the finished opened grain corresponded to the "butterfly" type, while in the hybrid "Krasnodar Bursting 406" the open grain was of the "Caramel" type.

Key words: lines, hybrids, pop corn, technological qualities of grain, grain productivity.

Введение

Кукуруза лопающая (*Zea mays everta*) представляет собой один из древнейших подвидов кукурузы. Её зерно разнообразно как по своей форме, так и по своим характеристикам. Рисовая лопающая кукуруза отличается клювовидной верхушкой зерна, в то время как перловая имеет округлую форму верхушки. Однако их общим свойством является большой удельный вес стекловидного эн-

досперма, который является ключевым элементом в процессе «взрывания» зерна [2].

Эндосперм лопающей кукурузы характеризуется наличием мучнистой части только вблизи зародыша, что играет важную роль в её особенном поведении при нагревании. Под воздействием паров воды при нагревании сухого зерна, крахмальные сферокристаллы в эндосперме начинают прорываться, что приводит к выворачиванию

эндосперма в виде рыхлой белой мучнистой массы. Таким образом, зерно сильно увеличивается в объеме, что и обуславливает название данного подвида.

Кукуруза лопающаяся представлена множеством разновидностей с разнообразными окрасками зерновки — от белой и желтой до красной, темно-синей и полосатой. Она широко распространена в Соединенных Штатах Америки, где приобрела особое промышленное значение, но в последние годы её популярность стремительно растёт и в других регионах мира. Данный подвид кукурузы обладает высокой продуктивностью, что делает его важным объектом селекционных исследований и обеспечивает ему все большее признание в мировом сельском хозяйстве.

В процессе эволюции лопающаяся кукуруза прошла несколько важных стадий развития. На первой стадии благодаря длительной работе народных селекционеров возникли сорта с белыми и темными зернами, которые относятся к категориям рисовой и перловой кукурузы. Дальнейшее развитие селекции сфокусировалось на создании белозерных форм, среди которых особенно выделилась рисовая кукуруза благодаря своему широкому распространению. В последующем, на заключительном этапе развития, внимание селекционеров сместилось на разработку желтозерных перловых форм [2]. Преимущество перловой кукурузы в ее способности образовывать более мягкую и воздушную структуру, содержащую меньше механических включений.

Попкорн представляет собой ценный зерновой продукт с низким содержанием калорий, обогащенный витаминами и микроэлементами. В составе зерен лопающейся кукурузы находятся такие важные для здоровья элементы как калий, фосфор, магний, кальций, сера, натрий, железо, алюминий, медь, никель, кобальт, бром и даже золото. Сухие зерна имеют до 69 % состава крахмала, 2 % клетчатки, 1,5 % минеральных веществ и 4,5 % жиров, благодаря чему попкорн выделяется среди других злаков высоким содержанием жира. Эндосперм зерна, в основном состоящий из рогового слоя, включает в себя от 12,3 % до 17,8 % белка, а также содержит ценные аминокислоты, такие как триптофан и лизин, в общей сложности насчитывая более 18 различных аминокислот [5,6].

Процесс «взрывания» зерен утраивает уровень водорастворимых компонентов по сравнению с исходным зерном, это происходит из-за гидролиза крахмала, который трансформируется в декстрины и сахара, в результате чего кислотность увеличивается за счет накопления свободных жирных кислот, в то время как содержание витамина В₁ сокращается наполовину [1].

Попкорн служит значительным источником

клетчатки, которая играет важнейшую роль в детоксикации организма, устранении мутагенов и канцерогенов, а также способствует удалению нитратов, регулирует уровень холестерина и сахара в крови. Американский национальный институт по изучению рака настоятельно советует употреблять клетчатку каждый день для уменьшения вероятности развития определенных типов рака. Особенность кукурузного зерна также в том, что оно содержит редкий микроэлемент - золото, который необходим для работы головного мозга.

Массовое производство попкорна в коммерческих целях начало свою историю с 1880 года, когда попкорн впервые был упомянут в официальной сельскохозяйственной документации США. В 1885 Ч. Криттором году была изобретена машина для производства попкорна [10].

Селекционная работа над кукурузой для попкорна началась в США в 1912 году, тогда как в России о попкорне стали знать только в XIX веке, а в СССР его появление пришлось на послевоенные годы 1945-1946.

В России популярность попкорна начала стремительно возрастать с 1991 года, когда компания «Деловая Русь» (тогда известная как «Бизнес Россия») ввезла в страну несколько контейнеров с этим зерном, а также специализированное оборудование для производства попкорна, которое ранее было неизвестно местным производителям и потребителям. Это событие стало отправной точкой для начала активного развития индустрии попкорна в России и установления его популярности среди населения [7].

В Государственный реестр селекционных достижений были внесены и разрешены к использованию лишь несколько гибридов кукурузы лопающейся. Центром на сегодняшний день районировано и разрешено к использованию популяции и двух гибридов кукурузы лопающейся. Учитывая важность данной проблематики и потребности рынка, Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко активно занимается программой по селекции гибридов лопающейся кукурузы.

Цель исследований

Изучить потенциальную продуктивность и уникальные технологические характеристики зерна новых гибридов кукурузы лопающейся.

Материалы и методы

Исследовательская работа проводилась в течение 2022-2023 годов в Центральной зоне Краснодарского края, характеризующейся выщелоченными, сверхмощными, черноземными почвами с низким содержанием гумуса. Климатические условия 2022 года были не совсем благоприятными. За вегетационный период (май-август) выпало 207,1 мм осадков (среднепогодный показатель 263,0 мм) при этом среднесуточная температура воздуха за этот период составила 22,2 °С при среднепо-

голетнем показателе 21,0 °С. Относительная влажность воздуха была в 2022 году ниже среднеголетних показателей на 11,5 %.

Климатические условия 2023 года характеризовались обилием осадков в мае и июне. За вегетационный период (май-август) выпало – 233,6 мм осадков при среднеголетнем показателе – 260 мм. Среднесуточная температура воздуха за 2023 год составила 23,6 °С, при среднеголетних показателях 21,2 °С. Относительная влажность воздуха в 2023 году была ниже среднеголетнего показателя на 11,2 %.

В селекции кукурузы исходному материалу отводится первоочередная роль. Для разработки новых линий лопающейся кукурузы был использован исходный материал из Соединенных Штатов, Аргентины и Китая. Производился тщательный селекционный отбор на основе технических значимых характеристик и качества зерна. С начала 1998 года было проанализировано свыше 100 сортообразцов из десяти стран, из которых были выбраны для последующих селекционных исследований те, что демонстрировали увеличение объема зерна после

обжаривания на уровне не менее 38 и долю взорванных зерен не менее 98 %. В процессе оценки коэффициента увеличения объема (КУО) визуально определяли форму раскрытого зерна: «бабочка», «карамель» [9]. В результате, в 2022-2023 годах было проведено изучение 130 отобранных гибридов кукурузы лопающейся.

Одной из основных задач было изучение сортообразцов и создание на их основе высокопродуктивных гибридов кукурузы с хорошими технологическими качествами зерна при растрескивании, наиболее отвечающих условиям Центральной зоны Краснодарского края. Опыты по изучению линий и новых гибридов кукурузы проводили по методике ВИР (1980). Посев проводили ручными сажалками в оптимальные сроки. Площадь делянки 9,8 м², повторность трехкратная. Густота стояния растений к уборке 60,0 тыс. на га.

Для анализа полученных данных применяли статистическую методику Б.А. Доспехова [4].

Результаты и обсуждение

В 2022 году проводили изучение морфо-биологических признаков гибридов кукурузы (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика морфологических и биологических признаков выделившихся новых гибридов кукурузы лопающейся, Краснодар, 2022 г.

| Название гибрида | Высота растений, см | Высота прикрепления початка, см | Количество дней от всходов до цветения початка |
|------------------------------------|---------------------|---------------------------------|--|
| Российская лопающаяся 3 (стандарт) | 200,5 | 80,3 | 58 |
| Краснодарский лопающийся 403 | 206,7 | 80,0 | 63 |
| Краснодарский лопающийся 405 | 208,3 | 82,2 | 62 |
| Краснодарский лопающийся 408 | 200,4 | 75,7 | 61 |
| Краснодарский лопающийся 409 | 198,4 | 73,5 | 62 |
| Краснодарский лопающийся 401 | 191,6 | 71,4 | 60 |
| Краснодарский лопающийся 406 | 195,8 | 73,4 | 62 |
| НСР _{0,05} | 5,4 | 3,1 | 0,7 |

В представленной таблице произведен сравнительный анализ морфо-биологических признаков ряда гибридов кукурузы лопающейся, созданных в Краснодарском крае в сравнении со стандартным образцом, Российская лопающаяся 3. Данные охватывают ключевые параметры, такие как среднюю высоту растений, уровень расположения початков и длительность вегетационного периода, отсчитываемого с момента появления первых всходов до начала цветения [4].

Результаты показали, что средняя высота растений выделившихся гибридов составляла от 191,6 см до 208,3 см. Высота прикрепления почат-

ка на стебле варьировала между 71,4 см и 82,2 см. Период от всходов до цветения початка находился в пределах от 60 до 63 дней.

Зерновая продуктивность является одной из наиболее важных факторов в изучении гибридов лопающейся кукурузы (табл. 2). Так, в 2022, 2023 годах изучали хозяйственную полезность всех 130 новых гибридов кукурузы лопающейся. Представленные данные демонстрируют значения показателей урожайности в тоннах на гектар, а также влажности зерна (в %) в момент уборки для выделившихся гибридов за два года исследований.

Таблица 2. Зерновая продуктивность лучших гибридов кукурузы лопающейся, Краснодар, 2022-2023 гг.

| Название гибрида | 2022 | | 2023 | | \bar{X} среднее за 2 года | |
|------------------------------------|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | урожайность зерна, т/га | уборочная влажность зерна, % | урожайность зерна, т/га | уборочная влажность зерна, % | урожайность зерна, т/га | уборочная влажность зерна, % |
| Российская лопающаяся 3 (стандарт) | 3,0 | 14,1 | 4,0 | 13,9 | 3,5 | 14,0 |
| Краснодарский лопающийся 401 | 4 | 13,8 | 5,2 | 13,8 | 4,6 | 13,8 |
| Краснодарский лопающийся 403 | 4,2 | 14 | 5,8 | 14 | 5 | 14 |
| Краснодарский лопающийся 405 | 3,8 | 13,8 | 5,6 | 13,9 | 4,7 | 13,8 |
| Краснодарский лопающийся 406 | 3,9 | 13,7 | 5,1 | 13,7 | 4,5 | 13,7 |
| Краснодарский лопающийся 408 | 3,7 | 14,3 | 5,3 | 14 | 4,5 | 14 |
| Краснодарский лопающийся 409 | 3,7 | 14 | 5,2 | 14,4 | 4,4 | 14,2 |
| $HCP_{0,05}$ | 0,7 | 1,2 | 0,8 | 1,1 | 0,6 | 1,3 |

В 2022 году зерновая продуктивность лучших гибридов лопающейся кукурузы находилась на уровне 3,7-4,2 т/га, в 2023 году – 5,1-5,8 т/га. Гибрид Краснодарский лопающийся 403 выделился наиболее высокой урожайностью среди представленных образцов, достигнув 5,0 т/га в среднем за два года при стабильной уборочной влажности 14,0 %. Остальные представленные гибриды также демонстрировали значительное превосходство урожайности зерна по сравнению со стандартом (от 4,4 до 4,7 т/га), при меньшей или равной уборочной влажности зерна (от 13,7 % до 14,2 %).

В процессе разработки новых гибридов лопающейся кукурузы особое внимание уделяется не только агрономическим характеристикам, но и технологическим параметрам зерна. Результаты технологического анализа служат ключевым фактором при оценке потенциала новых гибридов кукурузы для производства попкорна. В связи с этим особое внимание уделяется подготовке и хранению селекционного материала, включая процесс выравнивания влажности

зерна во всех исследуемых пробах или образцах.

Исследованиями установлено, что оптимальная «взрываемость» и наибольшее увеличение объема зерна при изготовлении попкорна наблюдается при влажности зерен в пределах 13,5-14,0 %. Изменение влажности за пределами этих значений приводит к снижению качества попкорна.

В контексте этого все селекционные станции или частные семеноводческие компании, занимающиеся лопающейся кукурузой, должны быть оборудованы специализированными помещениями подвального типа, оснащенными системами кондиционирования воздуха и аппаратурой для контроля влажности воздуха в хранилище. Образцы зерна, как правило, хранятся в початках. Перед проведением анализа образцы подвергаются обмолачиванию и сортировке, а затем производится определение влажности зерна и технологический анализ [8].

Данные технологического анализа являются одним из основных критериев оценки новых гибридов кукурузы (табл. 3).

Таблица 3. Технологические качества зерна лучших гибридов кукурузы лопающейся, Краснодар, 2022-2023 гг.

| Название гибрида | КУО | | Критерий оценки | |
|------------------------------------|------|------|-----------------|----------|
| | 2022 | 2023 | 2022 | 2023 |
| Российская лопающаяся 3 (стандарт) | 1:38 | 1:39 | Хорошая | Хорошая |
| Краснодарский лопающийся 403 | 1:40 | 1:41 | Отличная | Отличная |
| Краснодарский лопающийся 405 | 1:41 | 1:41 | Отличная | Отличная |
| Краснодарский лопающийся 408 | 1:39 | 1:40 | Хорошая | Отличная |
| Краснодарский лопающийся 409 | 1:40 | 1:39 | Отличная | Хорошая |
| Краснодарский лопающийся 401 | 1:41 | 1:40 | Отличная | Отличная |
| Краснодарский лопающийся 406 | 1:39 | 1:40 | Хорошая | Отличная |

Взрываемость зерен у различных гибридов кукурузы лопающейся является количественным признаком, который наследуется от родительских форм. В наших предыдущих исследованиях было выявлено, что при скрещивании линий с относительно высокой взрываемостью при обжаривании получаемые гибриды демонстрировали аналогичные свойства. Кроме того, при скрещивании родителей с разной степенью взрываемости наблюдалось частичное или полное доминирование этого признака [8]. В связи с выше изложенным изучение технологических качеств зерна новых линий имеет очень важное значение с точки зрения их хозяйственной ценности. Коэффициент увеличения объема (КУО) зерна у кукурузы лопающейся, кроме генотипических особенностей линий, во многом также зависит от способа его сушки, хранения, скорости нагрева и температуры жаровни [11].

По результатам проведенных исследований было установлено, что год изучения гибридов не оказал существенного влияния на технологические качества зерна, показатель КУО лучших гибридов варьировал на уровне 1:39-1:41. Критерий оценки выделенных гибридов: «хорошая» и «отличная».

Среди изученных гибридов большинство по

форме готового раскрытого зерна соответствовало типу «бабочка» (неправильной формы, напоминающей снежинку или бабочку), в то время как у гибрида «Краснодарский лопающийся 406» раскрытое зерно было типа «карамель» (раскрывающееся в форме шарика-гриба).

Выводы

1. Для разработки нового исходного материала, предназначенного для селекции гибридов кукурузы лопающейся необходимо проводить отбор по хозяйственно ценным признакам и технологическому качеству зерна, таким как урожайность, уборочная влажность зерна, коэффициент увеличения объема зерна.

2. С использованием новых линий кукурузы лопающейся были созданы гибриды кукурузы, демонстрирующие зерновую продуктивность на уровне 4,4-5,0 т/га. В 2023 году по результатам экспертной оценки гибрид Краснодарский лопающийся 405 был районирован и внесен в Государственный реестр селекционных достижений.

3. Технологические характеристики зерна у новых гибридов кукурузы оценивались как достаточно высокие, с коэффициентом увеличения объема от 1:38 до 1:41.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов, Е.И. Использование пищевой кукурузы в различных селекционных программах / Е.И. Беликов, О.Е. Климова // Кукуруза и сорго. - 2002. - № 3. - С. 15-20.
2. Вольнер, И.Н. Продукты из кукурузы и их пищевая ценность / И.Н. Вольнер // Пищепромиздат, М. 1963. - 89 с.
3. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Сорты растений, Москва, 2022. - 645 с.
4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. - М: Агропромиздат, 1985. - 352 с.
5. Котерняк, В.В. Селекция гибридов лопающейся кукурузы / В.В. Котерняк, Г.П. Карайванов // Краснодар, 1973. - С. 13-18.
6. Резвицкий, Т. Х. Изучение продуктивности и технологических качеств гибридов лопающейся кукурузы / Т. Х. Резвицкий, Р. А. Тикиджан, А. В. Позднякова [и др.] // The Scientific Heritage. - 2020. - № 49-4(49). - С. 7-9.
7. Сотченко, Ю. В. Селекция лопающейся кукурузы в предгорной зоне Ставропольского края / Ю. В. Сотченко, Л. А. Галговская, О. В. Теркина [и др.] // Кукуруза и сорго. - 2019. - № 4. - С. 17-21.
8. Супрунов, А.И. Селекция гибридов лопающейся кукурузы / А.И. Супрунов // Эволюция научных технологий в растениеводстве: сб. науч. Тр В честь 90-летия со дня образования Краснодарского НИИСХ им. П.П. Лукьяненко. - Т.2. - Краснодар, 2004. - С. 222-227.
9. Alexander, W. L. Grain-fill characteristics of early maize strains selected for variable R-nj expression / W. L. Alexander, H. Z. Cross // Euphytica. - 1983. - V. 32. - P. 839 - 843.
10. Grumbaker, D.E. Agron / D.E. Grumbaker, I.J. Johnson, J.C. Eldridge // J. - 1949. -V. 41. -210 p.
11. Shimoni, E. The relation between final popped volume of popcorn and thermal-physical parameters / E. Shimoni, E.M. Dirks, T.P. Labuza // Lebensmittel-Wiss. -Technol. -2002. -Vol. 35. - № 1.-P. 93-98.

REFERENCES

1. Belikov, E.I. The use of edible corn in various breeding programs / E.I. Belikov, O.E. Klimova // Corn and sorghum. - 2002. - № 3. - P. 15-20.
2. Volner, I.N. Products from corn and their nutritional value / I.N. Volner // Pishchepromizdat, M. 1963. - 89 с.
3. State Register of breeding achievements approved for use. Plant varieties, Moscow. - 2022. - 645 с.
4. Dospikhov, B.A. Methodology of field experience / B.A. Dospikhov. Moscow: Agropromizdat, 1985. - 352 p.
5. Koternyayk, V.V. Breeding of bursting corn hybrids / V.V. Koternyayk, G.P. Karayvanov // Krasnodar, 1973. - P. 13-18.
6. Rezvitsky, T. Kh. Study of productivity and technological qualities of popping corn hybrids / T. Kh. Rezvitsky, R. A. Tikidzhan, A. V. Pozdnyakova [et al.] // The Scientific Heritage. - 2020. - № 49-4(49). - P. 7-9.
7. Sotchenko, Yu. V. Selection of popping corn in the foothill zone of the Stavropol Territory / Yu. V. Sotchenko, L. A. Galgovskaya, O. V. Terkina [et al.] // Corn and sorghum. - 2019. - №. 4. - P. 17-21.
8. Suprunov, A.I. Breeding of bursting corn hybrids / A.I. Suprunov // Evolution of scientific technologies in crop production: Sat. scientific. Tr In honor of the 90th anniversary of the formation of the Krasnodar Research Institute named after P.P. Lukyanenko. - Vol. 2. - Krasnodar, 2004. - P. 222-227.
9. Alexander, W. L. Grain-fill characteristics of early maize strains selected for variable R-nj expression / W. L.

Alexander, H. Z. Cross // Euphytica. – 1983. – V. 32. – P. 839 - 843.

10. Grumbaker, D.E. Agron / D.E. Grambaker, I.J. Johnson, J.C. Eldridge // J. - 1949. -V. 41. -210 p.

11. Shimoni, E. The relation between final popped volume of popcorn and thermal-physical parameters / E. Shimoni, E.M. Dirks, T.P. Labuza // Lebensmittel-Wiss. –Technol. -2002. -Vol. 35. - № 1.-P. 93-98.

Анатолий Иванович Супрунов

Главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства кукурузы
E-mail: suprunov-kniisx@mail.ru
8(918)2552951

Anatoly Ivanovich Suprunov

Chief Researcher of the Department of Corn Breeding and Seed Production
E-mail: suprunov-kniisx@mail.ru
8(918)2552951

Андрей Петрович Новичихин

Научный сотрудник отдела селекции и семеноводства кукурузы
E-mail: aridan76@gmail.com
8(929)8351303

Andrey Petrovich Novichihin

Research Associate of the Department of Corn Breeding and Seed Production
E-mail: aridan76@gmail.com
8(929)8351303

Евгений Викторович Бондаренко

Младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства кукурузы
8(918)1172836

Evgeniy Viktorovich Bondarenko

Junior Researcher of the Department of Corn Breeding and Seed Production
8(918)1172836

Аркадий Владимирович Терещенко

Младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства кукурузы

Arkady Vladimirovich Tereshchenko

Junior Researcher of the Department of Corn Breeding and Seed Production

Все: ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко»
350012, Россия, г. Краснодар,
Центральная усадьба КНИИСХ

All: FSBSI National Grain Center P.P. Lukyanenko
350012, Krasnodar
Central estate of KNIISH, Russia.

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-24-30
УДК 631.53.02:635.649

Королёва С. В., канд. с.-х. наук,
Шумилова Е. В.
г. Краснодар, Россия

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА СЕМЯН С ЕДИНИЦЫ ПЛОЩАДИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕМЕНОВОДСТВА ГИБРИДОВ F₁ ПЕРЦА СЛАДКОГО, СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ ЦМС

Перец сладкий (*Capsicum annuum* L.) – овощная культура семейства Solanaceae, значимость которой подтверждается исследованиями в различных социально-экономических сферах. Россия не исключение в представлениях о ценности культуры, что подтверждается внесением перца сладкого в перечень культур, возделывание которых обеспечивает продовольственную безопасность страны. Кроме того, экономической целесообразностью обладает инициатива ведения семеноводства гибридов первого поколения перца сладкого, созданных на основе цитоплазматической мужской стерильности. Это продиктовано рядом преимуществ по сравнению с семеноводством сортов и гибридов, созданных на фертильной основе: снижение трудозатрат, связанных с маркировкой, кастрацией, сортовыми прочистками. Цель исследований – изучение потенциальной возможности завязывания качественных семян на высоких порядках ветвления (третий и выше) линии ms Янт 85 в весенней пленочной теплице, что позволит в перспективе рассчитывать на повышение продуктивности и выхода семян с единицы площади. Это подтверждается полученными данными исследования: урожайность по порядкам ветвления, вклад каждого порядка в общую урожайность и качество семян в зависимости от порядка ветвления. Кроме первого (14,9 %) и второго порядков (44,1 %), существенную долю в общую урожайность внесли семена, собранные с третьего (35,0 %) и четвертого (5,3 %) порядков, за счет достаточного количества собранных плодов перца, если говорить о третьем порядке. При анализе крупности семян отмечается тенденция снижения массы 1000 семян с увеличением порядка ветвления в пределах от 7,6 г (на первом порядке) до 6,5 г (на пятом и шестом порядках). Лабораторная всхожесть семян с первого, второго и третьего порядков изменялась незначительно: в пределах 98-100 %.

Ключевые слова: перец сладкий, семеноводство, цитоплазматическая мужская стерильность, порядок ветвления.

WAYS TO INCREASE THE YIELD OF SEEDS PER UNIT AREA WHEN DEVELOPING TECHNOLOGY FOR SEED PRODUCTION OF F₁ SWEET PEPPER HYBRIDS CREATED ON THE BASIS OF CMS

Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) is a vegetable crop of the Solanaceae family, the importance of which is confirmed by research in various socio-economic fields. Russia is no exception in ideas about the value of culture, which is confirmed by the inclusion of sweet pepper in the list of crops, the cultivation of which ensures the country's food security. In addition, the initiative to conduct seed production of first-generation hybrids of sweet peppers created on the basis of cytoplasmic male sterility is economically feasible. This is dictated by a number of advantages compared to seed production of varieties and hybrids created on a fertile basis: reduction in labor costs associated with labeling, castration, and varietal cleaning. The purpose of the research is to study the potential possibility of setting high-quality seeds at high branching orders (third and higher) of the ms Yant 85 line in a spring film greenhouse, which allows us to expect in the future an increase in productivity and seed yield per unit area. This is confirmed by the research data obtained: yield by branching order, the contribution of each order to the overall yield and seed quality depending on the branching order. In addition to the first (14.9 %) and second orders (44.1 %), a significant share in the total yield was made by seeds collected from the third (35.0 %) and fourth (5.3 %) orders, due to the sufficient number of collected pepper fruits, if we talk about the third order. When analyzing seed size, there is a tendency for the mass of 1000 seeds to decrease with increasing branching order ranging from 7.6 g (in the first order) to 6.5 g (in the fifth and sixth orders). Laboratory germination of seeds from the first, second and third orders changed slightly: within 98-100 %.

Key words: sweet pepper, seed production, cytoplasmic male sterility, branching order.

Введение

Перец сладкий (*Capsicum annuum* L.) – овощная культура семейства Solanaceae, значимость которой подтверждается исследованиями в различ-

ных социально-экономических сферах [16]. Дело касается не только питательной ценности плодов, обусловленной содержанием фенольных соединений, флавоноидов, витаминов, каротиноидов,

антиоксидантов и так далее [15]. Возделывание и реализация плодов и семян перца сладкого, как в открытом, так и закрытом грунтах с роботизацией некоторых элементов технологии – важная статья экономики многих стран (Китай, Израиль, Турция, Египет, Вьетнам и т.д.) [14]. Россия не исключение в представлениях о ценности культуры [5]. Это подтверждается внесением перца сладкого в пе-

речень культур, возделывание которых обеспечивает продовольственную безопасность страны [2].

Если обратить внимание на статические частности импорта товарного перца сладкого в Российскую Федерацию за 2015-2022 гг., то будет видна яркая тенденция снижения поставок, связанная со множеством всевозможных экономических, политических и социальных причин (рис.1) [1].

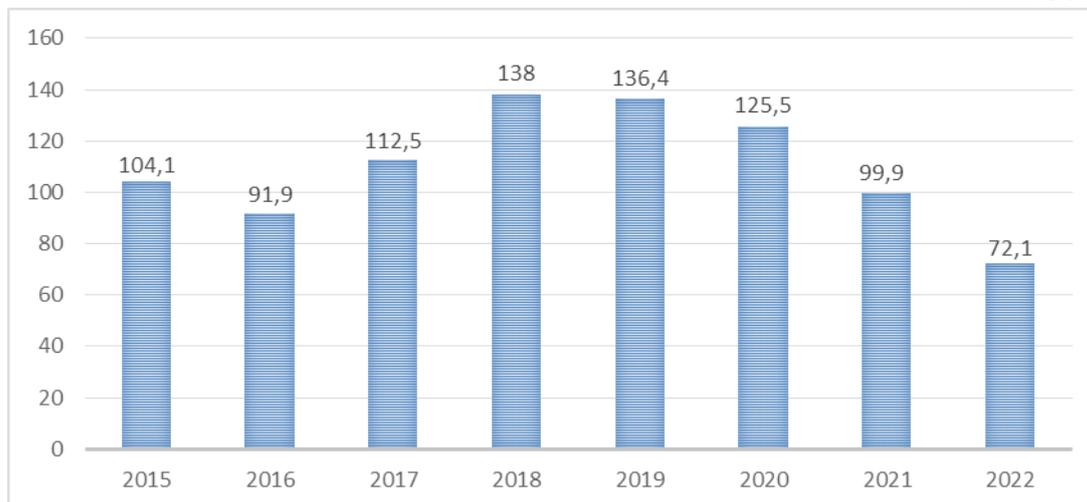


Рисунок 1. Динамика импорта сладкого перца в Россию в 2016-2022 гг.

Как видно на рисунке 1, пик поставок приходился на 2018 год и составлял 138 тыс. тонн, далее ежегодно объем импорта снижался, а в 2022 году составлял 72,1 тыс. тонн. Похожая картина наблюдается в поставках товарных семян перца сладкого: если в 2021 году объем импорта составлял 11 469,0 кг, то в 2022 году этот показатель был на 34,4 % меньше – 7 527,1 кг. Фактические объемы поставок коррелируют с площадью возделывания перца сладкого на территории России – менее 3 % от общего объема возделываемых сельскохозяйственных растений; в числе нишевых культур, выращиваемых в защищенном грунте, перец занимает лидирующие позиции. Из некоторых источников известно, что площади, занимаемые перцем сладким, составляют 15-20 тыс. га, из них 9-10 тыс. га возделывается на территории Краснодарского края [4]. Следует отметить, что производители овощных культур лишь на 20 % обеспечены семенами отечественной селекции, Россия практически не участвует в производстве товарных семян [12].

По некоторым данным, ежегодная потребность пищевых пасленовых культур (баклажан, перец) достигает 300 тыс. тонн в год [11]. Статистические сведения говорят о явных потребностях, реализуемых возможностях, а так же комплексе проблем, связанных с производством товарных семян.

На сегодняшний день в Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России, зарегистрировано более ста сортов и гибридов перца

сладкого. Многолетними опытами и исследованиями установлено, что гетерозисные гибриды первого поколения по ряду хозяйственно-ценных признаков превосходят самоопыляющиеся сорта [6]. По количественным и качественным показателям отечественные гибриды не уступают, а в некоторых случаях, превосходят импортные образцы [7]. Это объясняется тем, что селекционный процесс направлен на создание адаптированных к условиям юга России, высокоурожайных, раннеспелых, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам гибридов первого поколения с хозяйственно ценными признаками, которые усиливаются за счет истинного эффекта гетерозиса и комбинационной способности подбираемых линий [8, 12].

Семеноводство гибридов первого поколения перца сладкого, основанное на использовании цитоплазматической мужской стерильности – передовое и эффективное направление селекции [8]. Данная технология подразумевает создание стерильных линий, закрепителей стерильности, восстановителей фертильности. Несмотря на сложности селекционного процесса, технология семеноводства на основе цитоплазматической мужской стерильности имеет ряд преимуществ по сравнению с семеноводством на основе фертильных линий [17]. Существенное снижение трудозатрат на кастрацию, маркировку опыленных цветков, сортопрочистку материнских линий позволяет повысить эффективность всего семеноводческого процесса, так как ручные рабо-

ты, связанные с гибридизацией и уходом, составляют значительную долю прямых затрат [13].

Из некоторых источников известно, что лучшие физические качества семян перца получаются из плодов, сформированных на первых трех порядках, а использование плодов, сформированных после, ведет к снижению посевных качеств семян и урожайности следующего поколения на 7-20 % [10]. При этом, важно отметить, что семеноводство в открытом и закрытом грунте имеет свои конкурирующие преимущества и недостатки. Ведение семеноводства в весенней пленочной теплице позволяет повысить выход семян в 4 раза по сравнению с открытым грунтом при ручном опылении материнского компонента скрещивания. При известных рисках возделывания в открытом грунте и естественном опылении насекомыми можно получить определенный выход семян с меньшими затратами, чем при ручном опылении. Такая практика применима в хозяйствах с отсутствием или слабым проявлением микоплазменных заболеваний и вирусов [13].

Исследование призвано обосновать практическую пользу ведения семеноводства в закрытом грунте с точки зрения повышения урожайности и качества семян, а также максимально эффективного использования занимаемой площади материнским компонентом за счет задействования в скрещивании более высоких порядков ветвления.

Цель исследований

Изучить завязываемость качественных семян от ручной гибридизации на различных порядках ветвления семенного куста ЦМС-линии ms Янт 85 в весенней пленочной теплице.

Материалы и методы

Исследовательскую работу проводили на базе ФГБНУ «ФНЦ риса», расположенного в поселке Белозерный г. Краснодара, в 2023 году в отделе овощеводства. Объектом исследования являлись линии перца сладкого: ms Янт 85 (материнский компонент с ЦМС) и Самф 322 (отцовский компонент, восстановитель фертильности), также произведенный в ходе опыта семенной материал перспективного гибрида Макар F₁, оригинатором которого является ФГБНУ «ФНЦ риса» [6]. Гибрид подходит для использования в личных подсобных хозяйствах и в товарном овощеводстве; средняя масса плода – 120 г, толщина стенки – 5-7 мм; мякоть сочная, сладкая, с типичным перечным ароматом; урожайность в открытом грунте – 36,4-47,7 т/га; назначение – для свежего потребления и переработки; показывает толерантность к вершинной гнили плодов.

Место выращивания рассады – камера искусственного климата, выращивание рассады проводили согласно рекомендациям [10]. Место проведения опыта – весенняя пленочная теплица. Перед посевом семена замачивали и прогревали при температуре 45 °С в течение четырех часов. Посев в

кассеты № 96 проводился 22.02.2023, перенос в теплицу – 04.04.2023, посадка рассады в весеннюю пленочную теплицу – 14.04.2023. Высаживание рассады производилось по схеме: (50+90)/2x30 см, количество растений на 1 м² – 4,8 шт. Количество учетных растений 32 шт. Уход за растениями соответствовал рекомендованным методикам для Краснодарского края [9]. Наступление фенологических фаз родительских линий проходило синхронно. Скрещивание осуществляли в период с 18.05.23 по 20.06.23 при относительно оптимальных температурных условиях (рисунок 2) методом ручной гибридизации с маркировкой опыленных цветков. Сбор биологически спелых плодов материнского компонента проводился в период с 18.07.23 по 16.08.23, было проведено пять уроборков. По результатам учета сбора плодов, выхода семян с порядков ветвления определяли показатель завязывания плодов (%), семенную урожайность на ярусах растения, так же массу 1000 семян, энергию прорастания и лабораторную всхожесть.

Результаты и обсуждение

Период проведения скрещиваний характеризовался благоприятным температурным режимом. Максимальная оптимальная температура сохранения жизнеспособности пыльцы и завязываемость составляет +25...+27 °С. На рисунке 2 приведен температурный режим скрещиваний по порядкам ветвления.

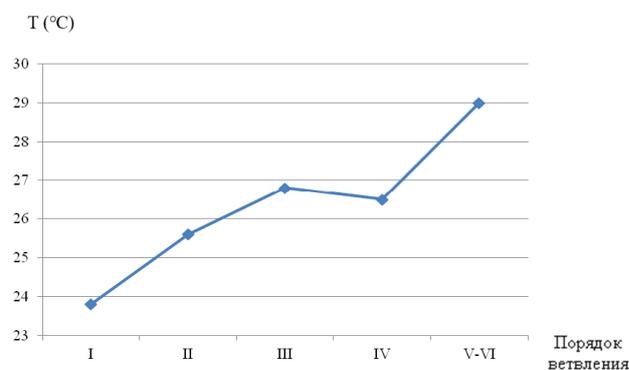


Рисунок 2. Температурный режим при скрещивании по порядкам ветвления на линии ms Янт 85

В ходе проведения опыта температура варьировала от 23,8 °С до 29,0 °С. На всем протяжении скрещиваний от первого до четвертого порядков отмечался благоприятный температурный режим для завязывания (23,8-26,8 °С). Скрещивания на пятом и шестом порядках проводили в менее удовлетворительных температурных условиях (29,0 °С), что могло повлиять на жизнеспособность пыльцы отцовского компонента скрещиваний, а также завязывание плодов. Температурный режим – один из существенных факторов, влияющих на характер

и качество завязываемости. Он учитывается при разработке плана скрещиваний в оптимальных для растения временных и температурных рамках.

В результате различных факторов: агрофона, изолированности растений от внешних агентов, регулирования режимов температуры и влажности, ручной гибридизации, показатель завязываемости в условиях закрытого грунта в разы больше, чем в открытом грунте из-за невозможности опти-

мизации внешних условий, если сопоставить факторы, негативно влияющих на завязывание.

При заданных условиях ухода в закрытом грунте целевая нагрузка плодов на растении составляет 6-7 штук. В опыте на одно растение в среднем приходится 6,2 плода. Далее рассмотрим показатель завязываемости на различных порядках ветвления в зависимости от теоретического возможного количества образовавшихся цветков (табл. 1).

Таблица 1. Показатели завязывания плодов на линии перца сладкого ms Янт 85 в зависимости от фактического образования цветков на порядках ветвления

| Порядок ветвления | Образование цветков на одном растении, шт. | Образование цветков на 32 растениях, шт. | Количество завязавшихся плодов всего, шт. | Количество плодов на одно растение, шт. | Фактическое завязывание семян, % |
|-------------------|--|--|---|---|----------------------------------|
| I | 2 | 64 | 28 | 0,9 | 43,8 |
| II | 4 | 128 | 90 | 2,8 | 70,3 |
| III | 8 | 256 | 66 | 2,1 | 25,8 |
| IV | 16 | 512 | 11 | 0,3 | 2,1 |
| V-VI | 32 | 1024 | 1 | 0,03 | 0,1 |
| VI | 64 | 2048 | 2 | 0,06 | 0,1 |

Образование цветков на линии ms Янт 85 детерминируется дихотомическим ветвлением побегов и характеризуется принципиальным математическим изменением. В опыте задействовано 32 растения материнского компонента. В исследовании целевая нагрузка плодов на растение составляла 6 штук (при фактическом количестве 6,2 плода на одно растение). Далее, анализируя количество теоретически возможного образования цветков и фактического количества завязавшихся плодов, мы можем сделать выводы о характере завязывания на различных порядках ветвления. Наибольшая завязываемость плодов отмечается на втором порядке – 70,3 %, далее идет первый порядок – 43,8 %, затем третий – 25,8 %. Высокие показатели завязываемости на первом и втором порядках объясняются благоприятными температурными условиями и отсутствием критически воз-

можной нагрузки плодов на растение, которое, в числе прочих факторов, повлияло на показатель завязываемости на третьем порядке. Крайне низкое завязывание наблюдали на четвертом, пятом и шестом порядках (2,1 % и 0,1 %, соответственно), что объясняется высокими температурами в период скрещивания, а также достижением предела нагрузки плодов на растения при определенных условиях возделывания. Регулирование питательного режима, возможно, позволит расширить ожидаемый диапазон нагрузки плодов на растение, тем самым повысить показатель завязывания на более высоких порядках.

Способность семенной продуктивности высших порядков ярусов цветения на линии ms Янт 85 прослеживается в показателях выхода семян на разных порядках ветвления, представленных в таблице 2.

Таблица 2. Количественный выход семян с разных порядков ветвления на линии ms Янт 85

| Порядок ветвления | Количество завязавшихся семян, шт. | Количество семян на один плод, шт. | Выход семян с 1-го плода, г |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| I | 5 276,0 | 188,0 | 1,4 |
| II | 16 836,0 | 187,0 | 1,4 |
| III | 13 541,0 | 205,0 | 1,5 |
| IV | 2 167,0 | 197,0 | 1,3 |
| V - VI | 523,0 | 131,0 | 0,9 |
| Всего | 38 343,0 | - | - |

Выход семян коррелирует с числом образовавшихся плодов. Так, наибольший показатель по количеству завязавшихся семян отмечается на

втором порядке – 16 836,0 шт. Несмотря на низкий показатель завязываемости на третьем порядке (25,8 %), показатель количества завязавшихся се-

мян составил 13 541,0 шт. за счет большего количества образовавшихся плодов (66 шт.) и потенциальной возможности порядка (количество семян на один плод - 205 шт.). На первом порядке хорошее завязывание (43,8 %) дало меньшее количество семян – 5 276,0 шт. за счет меньшего объема потенциально опыляемых цветков. В связи с вышеизложенными причинами количество завязавшихся семян с четвертого, пятого и шестого порядков статистически невелико и составляет 2 167,0 и 523,0 штук, соответственно, при показателе завязывания 2,1 % на четвертом порядке и 0,1% на пятом, шестом. Однако на четвертом порядке показатель количества семян на один плод составил 197 шт. (что выше значений первого и второго порядков), а показатель «выход семян с одного плода» составил 1,3 г – на уровне первого-третьего порядков.

Это свидетельствует о возможности вовлечения в скрещивание высоких порядков ветвления при оптимальных условиях возделывания.

Урожайность – важная итоговая количественная характеристика генотипа и применяемой технологии. Суммирующий выход семян по всем порядкам ветвления дает понимание эффективности семеноводческой стратегии. Важно учитывать вклад каждого порядка в общую урожайность, отметить факторы, влияющие на показатели семенной продуктивности, а также определить потенциал порядка. Схема размещения компонентов скрещивания в опыте – 4,8 раст/м², доля материнского компонента составила 3,2 раст/м². В таблице 3 представлена урожайность генотипов по выходу семян в связи с порядком ветвления на линии ms Янт 85.

Таблица 3. Урожай семян по порядкам ветвления на линии ms Янт 85

| Порядок ветвления | Масса завязавшихся семян, г | Масса семян одного растения, г | Урожай, г/м ² семян | Вклад порядка ветвления в общую урожайность, % |
|-------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--|
| I | 40,1 | 1,25 | 6,0 | 14,4 |
| II | 122,9 | 3,84 | 18,4 | 44,1 |
| III | 97,5 | 3,05 | 14,6 | 35,0 |
| IV | 14,3 | 0,45 | 2,2 | 5,3 |
| V - VI | 3,4 | 0,11 | 0,5 | 1,2 |
| Всего | 278,2 | 8,7 | 41,7 | 100 |

Сравнительная высокая урожайность, полученная со второго порядка – 18,4 г/м² объясняется высоким показателем завязываемости, количеством плодов на порядке и выходом семян; согласно результатам, вклад второго порядка в общую урожайность линии составляет – 44,1 %. Несмотря на более низкий показатель завязываемости, доля третьего порядка в общей урожайности – 35,0 % (или 14,6 г/м²), за счет большего количества плодов в сравнении с первым порядком. Его доля в общей урожайности составила 14,4 % (или 6,0 г/м²). Набор предельной нагрузки на растения за счет четвертого, пятого и шестого порядков объясняет

низкое завязывание и небольшое количество плодов в сравнении с предыдущими порядками. При этом, доля четвертого порядка в общей урожайности составила 5,3 % (или 2,2 г/м²), пятого и шестого порядков – 1,2 %.

Известно, что получение высоких урожаев семян (урожайности линии) не гарантируют их качество. Пригодность к посеву и хранению определяется посевными характеристиками семенного материала: энергия прорастания, всхожесть, масса 1000 семян и так далее. Посевные качества семян по порядкам ветвления представлены в таблице 4.

Таблица 4. Посевные качества семян по порядкам ветвления на линии ms Янт 85

| Порядок ветвления | Масса 1000 семян, г | Энергия прорастания, % | Лабораторная всхожесть, % |
|-------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| I | 7,6 | 60,0 | 98,0 |
| II | 7,3 | 67,7 | 99,5 |
| III | 7,2 | 59,4 | 100,0 |
| IV | 6,6 | - | - |
| V-VI | 6,5 | - | - |

Полученные данные представляют интерес, так как рассматривается влияние порядка завязывания на качество семян. Отмечается закономерное снижение показателя массы от порядка к порядку

за счет неравномерного распределения питательного ресурса по порядкам ветвления. Наибольшей энергией прорастания обладают семена, собранные со второго порядка – 67,7 %, наименьшей – с

третьего – 59,4 %. Лабораторная всхожесть семян варьирует в оптимальных для культуры значениях: от 98,0 % на первом порядке до 100 % на третьем. То есть независимо от порядка ветвления при благоприятных агроклиматических факторах качество семян остается в пределах диапазона, который соответствует ГОСТ 32592-2013 [3].

Выводы

При проведении скрещиваний на стерильной линии ms Янт 85 и получении семян гибрида Макар F₁ основная работа по гибридизации была проведена на первом, втором и третьем порядках; четвертый и пятый порядки в скрещивании были задействованы как дополнительные, чтобы обеспечить рекомендуемую нагрузку плодами. Основная доля семян была собрана со второго и третьего порядков: 44,1 % и 35,0 % от общей урожайности,

соответственно. Результаты по завязыванию семян показали, что этот показатель на четвертом порядке был высоким, что указывает на перспективу более значительного вклада в общую урожайность при проведении дополнительных скрещиваний. Наиболее крупные семена формировались на первом порядке; с увеличением порядка ветвления отмечается тенденция к снижению массы 1000 семян от 7,6 г до 6,5 г (на пятом и шестом порядках). Лабораторная всхожесть на первом, втором, третьем порядках высокая. Выводы исследования подтверждают необходимость дальнейшей работы по созданию технологии семеноводства гибридов первого поколения перца сладкого с задействованием большего количества порядков ветвления при условии соблюдения требований возделывания на заданную урожайность.

ЛИТЕРАТУРА

1. АБ-центр: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ab-centre.ru/news/ob-importe-sladkogo-perca-v-rossiyu-v-2015-2021-gg>. (Дата обращения 21.03.2023).
2. Гарант.ру: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405813013>. (Дата обращения 21.03.2023).
3. ГОСТ 32592-2013 «Межгосударственный стандарт. Семена овощных, бахчевых культур, кормовых корнеплодов и кормовой капусты. Сортные и посевные качества. Общие технические условия»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fsvps.gov.ru/files/gost325922013mezghosudarstvennyj-standart>. Дата обращения (21.03.2024).
4. Капустина, Р. Н. Перспективные гибриды сладкого перца для юга России / Р. Н. Капустина, А. А. Волков // Вестник овощевода. – Крымск, 2010. – № 2. – С. 3-8.
5. Каракаджиев, А. С. Изучение коллекционных образцов перца сладкого и отбор доноров хозяйственно ценных признаков / А. С. Каракаджиев, О. П. Кигашпаева, А. В. Гулин, В. А. Мачулкина // Известия. – Нижневожск, 2023. – № 2 (70). – С. 281-287.
6. Королёва, С. В. Гибрид перца Макар F₁ – от испытания до передачи в Госсортоиспытание/ С. В. Королёва, О. Г. Пистун, Н. В. Полякова. // Рисоводство. – Краснодар, 2023. – № 4 (61). – С. 35-41.
7. Королёва, С. В. Испытание гибридов перца сладкого на основе мужской стерильности в весенних плечных теплицах / С. В. Королёва, О. Г. Пистун, Н. В. Полякова // Рисоводство. – Краснодар, 2022. – № 1 (54). – С. 46 -52.
8. Королёва, С. В. К вопросу создания стерильных линий сладкого перца при селекции на гетерозис / С. В. Королёва, Н. В. Полякова, О. Г. Пистун // Овощи России. – 2020. – № 5. – С. 38-42.
9. Литвинов, С.С. Эффективность овощеводства России (анализ, стратегия, прогноз)/ С.С. Литвинов, М.В. Шатилов // М. :ФГБНУ ВНИИО. - 2015. - 140 с.
10. Лудилов, В. А. Семеноводство овощных и бахчевых культур / В. А. Лудилов. – М.: Глобус, 2000. – 256 с.:ил.
11. Огнев, В. В. Перец сладкий – стратегия роста / В. В. Огнев, Т. В. Чернова, А. Н. Костенко, Н. В. Гераськина, Н. А. Полтавский // Картофель и овощи. – 2019. – № 11. – С. 33-36.
12. Огнев, В. В. Товарное семеноводство перца сладкого в открытом грунте на юге России/ В. В. Огнев, Т. В. Чернова, А. Н. Костенко // Картофель и овощи. – № 2. – 2022. – С. 36-40.
13. Юрченко, С. А. Экономическая эффективность семеноводства гибридов f1 сладкого перца, созданных на основе ядерно-цитоплазматической мужской стерильности / С. А. Юрченко, С. В. Королёва// Международный саммит молодых учёных. Современные решения в развитии сельскохозяйственной науки и производства. – 2016. – С. 252- 256.
14. Arad, B. Development of a sweet pepper harvesting robot / B. Arad, J. Balendonck, R. Barth, O. Ben-Shahar, Y. Edan, T. Hellström, J. Hemming, P. Kurtser, O. Ringdahl, T. Tielen, B. van Tuijl // Journal of field robotics. – 2020. - № 37. - P. 1027-1039.
15. Buczkowska, H. Comparison of qualitative traits, biological value, chemical compounds of sweet pepper fruit / H. Buczkowska, Z. Michajlova // J. Elem. – 2012. - № 1. - P. 367–377.
16. Mbandlwa, N. P. et al. Stomatal conductance, leaf chlorophyll content, growth, and yield of sweet pepper in response to plant growth regulators / N. P. Mbandlwa, H. Fotouo-M, M. M. Maboko, D. Sivakumar //International Journal of Vegetable Science. – 2020. – V. 26. – № 2. – P. 116-126.
17. Wang, L. QTL analysis of fertility restoration in cytoplasmic male sterile / L. Wang, B. Zhang, V. Lefebvre, S. Huang, A. Daubéze, A. Palloix // Theoretical and Applied Genetics. – 2004. – № 109(5). – P. 1058-1063.

REERENCES

1. AB Center: [Electronic resource]. Access mode: <https://ab-centre.ru/news/ob-importe-sladkogo-perca-v-rossiyu-v-2015-2021-gg> . (Date of application 03/21/2023).
2. Garant.ru: [Electronic resource]. Access mode: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405813013> .

(Accessed 03/21/2023).

3. GOST 32592-2013 "Interstate standard. Seeds of vegetable, melon crops, fodder root crops and fodder cabbage. Varietal and sowing qualities. General technical conditions": [Electronic resource]. Access mode: <https://fsvps.gov.ru/files/gost325922013mezghosudarstvennyj-standart>. Date of appeal (03/21/2024).

4. Kapustina, R. N. Promising hybrids of sweet pepper for the south of Russia / R. N. Kapustina, A. A. Volkov // Bulletin of the vegetable grower. – Krymsk, 2010. – № 2. – P. 3-8.

5. Karakadzhiev, A. S. The study of collectible samples of sweet pepper and the selection of donors of economically valuable traits / A. S. Karakadzhiev, O. P. Kigashpaeva, A.V. Gulin, V. A. Machulkina // News. – Nizhnevolzhsk, 2023. – № 2 (70). – P. 281-287.

6. Koroleva, S. V. Makar F₁ pepper hybrid – from testing to transfer to State export testing/ S. V. Koroleva, O. G. Pistun, N. V. Polyakova. // Rice growing. – Krasnodar, 2023. – № 4 (61). – P. 35-41.

7. Koroleva, S. V. Testing of sweet pepper hybrids based on male sterility in spring film greenhouses / S. V. Koroleva, O. G. Pistun, N. V. Polyakova // Rice growing. – Krasnodar, 2022. – № 1 (54). – P. 46-52.

8. Koroleva, S. V. On the issue of creating sterile lines of sweet pepper during selection for heterosis / S. V. Koroleva, N. V. Polyakova, O. G. Pistun // Vegetables of Russia. – 2020. – № 5. – P. 38-42.

9. Litvinov, C.S. Efficiency of vegetable growing in Russia (analysis, strategy, forecast)/ C.S. Litvinov, M.V. Shatilov // M. :FGBNU VNIIO. - 2015. - 140 p.

10. Ludilov, V. A. Seed production of vegetable and melon crops / V. A. Ludilov. – M.: Globus, 2000. – 256 p.

11. Ognev, V. V. Sweet pepper – growth strategy / V. V. Ognev, T. V. Chernova, A. N. Kostenko, N. V. Geraskina, N. A. Poltavsky // Potatoes and vegetables. – 2019. – № 11. – P. 33-36.

12. Ognev, V. V. Commercial seed production of sweet pepper in the open ground in the south of Russia/ V. V. Ognev, T. V. Chernova, A. N. Kostenko // Potatoes and vegetables. – № 2. – 2022. – P. 36-40.

13. Yurchenko, S. A. Economic efficiency of seed production of f1 sweet pepper hybrids created on the basis of nuclear cytoplasmic male sterility / S. A. Yurchenko, S. V. Koroleva// International Summit of Young Scientists. Modern solutions in the development of agricultural science and production. – 2016. – P. 252-256.

14. Arad, B. Development of a sweet pepper harvesting robot / B. Arad, J. Balendonck, R. Barth, O. Ben-Shahar, Y. Edan, T. Hellström, J. Hemming, P. Kurtser, O. Ringdahl, T. Tielen, B. van Tuijl // Journal of field robotics. – 2020. – № 37. – P. 1027-1039.

15. Buczkowska, H. Comparison of qualitative traits, biological value, chemical compounds of sweet pepper fruit / H. Buczkowska, Z. Michajlova // J. Elem. – 2012. – № 1. – P. 367-377.

16. Mbandlwa, N. P. et al. Stomatal conductance, leaf chlorophyll content, growth, and yield of sweet pepper in response to plant growth regulators / N. P. Mbandlwa, H. Fotouo-M, M. M. Maboko, D. Sivakumar //International Journal of Vegetable Science. – 2020. – V. 26. – №. 2 – P. 116-126.

17. Wang, L. QTL analysis of fertility restoration in cytoplasmic male sterile / L. Wang, B. Zhang, V. Lefebvre, S. Huang, A. Daubèze, A. Palloix // Theoretical and Applied Genetics. – 2004. – № 109(5). – P. 1058-1063.

Светлана Викторовна Королева

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

Svetlana Victorovna Koroleva

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

ФГБНУ «ФНЦ риса»

350921, Краснодар, пос. Белозерный, 3

FSBSI «FSC of rice»

3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia

Екатерина Владимировна Шумилова

Студент
E-mail: 79186778737agro@gmail.com

Ekaterina Vladimirovna Shumilova

Student
E-mail: 79186778737agro@gmail.com

ФГБУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»
350912, Краснодар, пер. Калинина, 13

FSBEI HE "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin"
13, lane. Kalinina, Krasnodar, 350912, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-31-38
УДК:633.41/.44

Бухаров А.Ф., д-р с.-х наук,
Соколова Л.М., д-р с.-х. наук,
Еремина Н.А.,
Леунов В.И., д-р с.-х. наук, профессор
г. Москва, Россия
Бухарова А.Р., д-р с.-х наук, профессор
г. Балашиха, Россия

НАСЛЕДОВАНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЕМЯН ПРИ ОТДАЛЕННОЙ ГИБРИДИЗАЦИИ МОРКОВИ

Отдаленная гибридизация является одним из широко распространенных и эффективных методов создания нового исходного материала. Дикорастущие формы моркови представляют интерес как источники признаков устойчивости к болезням, абиотическим факторам среды, повышенного содержания биологически активных веществ. Кроме того семена дикорастущих форм моркови характеризуются маленьким зародышем как в абсолютном, так и относительном выражении. Поэтому целью настоящей работы является изучение особенностей проявления и наследования морфометрических параметров внутреннего строения семян у F_1 гибридов, полученных в результате отдаленных скрещиваний культивируемых и дикорастущих форм рода *Daucus*. В результате исследований выявлено, что длина семени гибридов изменялась от 2,63 до 3,66 мм, длина эндосперма от 2,44 до 3,40 мм, а зародыша от 0,95 до 1,85 мм. Минимальными значениями всех параметров отличался образец 8В x Д10, максимальными – образец 8В x Д11. Следует отметить, что образец 690П x Д23 характеризовалась очень крупным ($1,85 \pm 0,035$ мм) зародышем существенно превышающем среднее значение по популяции. Эндосперм составлял от 91,7 до 94,1 процентов длины семени, что свидетельствует о его хорошем развитии и максимальной выполненности семян. Длина зародыша относительно длины семени составляла 32,8–57,6 %, а относительно эндосперма 35,3–62,1 %. Морфометрические параметры в физическом выражении преимущественно наследовались с положительной степенью доминантности. Относительные значения параметров (индексов), как правило, наследовались с отрицательной степенью доминантности. Специфика наследования морфометрических параметров семян (степени доминантности) в значительной степени обусловлена происхождением и пloidностью тканей, из которых развиваются элементы семени, что следует учитывать при анализе результатов исследований.

Ключевые слова: морковь, F_1 гибриды, семя, эндосперм, зародыш.

INHERITANCE OF MORPHOMETRIC PARAMETERS OF SEEDS WITH REMOTE HYBRIDIZATION OF CARROTS

Remote hybridization is one of the widespread and effective methods of creating a new source material. Wild forms of carrots are of interest as sources of signs of resistance to diseases, abiotic environmental factors, and an increased content of biologically active substances. In addition, the seeds of wild carrot forms are characterized by a small embryo in both absolute and relative terms. Therefore, the purpose of this work is to study the peculiarities of the manifestation and inheritance of morphometric parameters of the internal structure of seeds in F_1 hybrids obtained as a result of remote crosses of cultivated and wild forms of the genus *Daucus*. The results of the research revealed that the length of the seed of hybrids varied from 2.63 to 3.66 mm, the length of the endosperm from 2.44 to 3.40 mm, and the embryo from 0.95 to 1.85 mm. The minimum values of all parameters differed from the sample 8B x D10, the maximum values were the sample 8B x D11. It should be noted that the sample 690P x D23 was characterized by a very large (1.85 ± 0.035 mm) embryo significantly exceeding the population average. The endosperm ranged from 91.7 to 94.1 percent of the seed length, which indicates its good development and maximum seed productivity. The length of the embryo relative to the length of the seed was 32.8 – 57.6 %, and relative to the endosperm 35.3 – 62.1 %. Morphometric parameters in physical terms were mainly inherited with a positive degree of dominance. Relative parameter values (indexes), as a rule, were inherited with a negative degree of dominance. The specificity of inheritance of morphometric parameters of seeds (degree of dominance) is largely due to the origin and ploidy of the tissues from which the elements of the seed develop, which should be taken into account when analyzing the research results.

Key words: carrot, F_1 hybrids, seed, endosperm, embryo.

Введение

Отдаленная гибридизация является одним из широко распространенных и эффективных методов создания нового исходного материала [10, 15]. Широко известны успехи, достигнутые при использовании этого метода в селекции зерновых, картофеля, овощных, плодовых и других сельскохозяйственных культур [1, 2, 12, 17, 23, 32, 33].

Необходимость вовлечения дикорастущих форм моркови в селекционный процесс неоднократно обсуждалась в научных дискуссиях [18, 19, 23, 29, 30, 41]. Дикорастущие формы моркови представляют интерес как источники устойчивости к болезням, а так же к абиотическим факторам среды, повышенного содержания биологически активных веществ и другим показателям [20, 21, 25, 26-31, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43].

Однако отдаленные скрещивания моркови, как и других культур, сопряжены с передачей гибридам комплекса негативных признаков присутствующих диким видам. Дикорастущие формы моркови, как правило, имеют грубый веретеновидный корнеплод с низким содержанием каротиноидов. Они склонны к однолетнему циклу развития [19, 25].

Кроме того семена дикорастущих форм моркови характеризуются маленьким зародышем как в абсолютном, так и относительном выражении [3, 4, 9]. Наличие такого зародыша в большинстве случаев у представителей семейства Зонтичные приводит к удлинению периода прорастания семян. Это происходит за счет увеличения срока доразвития зародыша, а в некоторых случаях и возникновения покоя и снижения посевных качеств семян. Полиморфизм морфометрических параметров является одним из показателей разнокачественности семян, в том числе наследственно обусловленным [4, 38, 44]. Из чего следует, что размер зародыша и морфометрические параметры внутреннего строения семян неизбежно будут становиться предметом селекции.

Цель исследований

Изучить особенности проявления и наследования морфометрических параметров семян F_1 гибридов, полученных в результате отдаленных скрещиваний культивируемых и дикорастущих форм рода *Daucus*.

Материалы и методы

Исследования проводили в лаборатории семеноведения и лаборатории селекции корнеплодных культур и луков ВНИИО. В качестве материнских форм использованы ЦМС-линии, полученные в отделе селекции ВНИИО, в том числе В8, П200, П690 [14, 19].

В качестве опылителей служило 6 образцов диких видов и разновидностей моркови рода *Daucus*, (№10-*Daucus carota* subsp. *maximus* (Desf.) Ball., №11-*Daucus broteri* Ten., №18-*Daucus carota* Roth.,

№21-*Daucus carota* L., №23-*Daucus setifolius* Desf., №27-*Daucus carota* L.), предоставленные профессором Ботанического сада МГУ М.Г. Пименовым [25, 28].

Для гибридизации использовали каркасные сетчатые изоляторы диаметром 0,5 м. Для опыления использовали синих мясных мух (*Calliphora uralensis* Villeneuve) [19, 21]. Лабораторные исследования выполнены в четырех повторностях по 30 шт. семян в каждой. Семена F_1 гибридов и исходных родительских форм для морфометрического анализа сначала замачивали в растворе гипохлорита натрия (14 %) в течение 1 часа, а затем промывали в проточной воде. У каждого семени последовательно измеряли его длину, длину эндосперма (на продольном разрезе) и длину зародыша (после выделения). Длину семени и эндосперма измеряли с помощью штангенциркуля (ГОСТ 166-89). Длину зародыша определяли на микроскопе Levenhuk 670T и видеоокуляра DCM 300 MD (Microscope Digital, Китай) при увеличении $\times 40$ с использованием программы Scope Photo (Image Software V. 3.1.386).

В процессе исследований рассчитывали индексы $I_{э/с}$, $I_{з/э}$, $I_{з/с}$, показывающие отношения длины семени, эндосперма и зародыша в соответствии с ранее разработанными методиками [3, 5, 24]. Различия между значениями параметров изученных образцов считали статистически значимыми при $P \leq 0,05$. Коэффициент корреляции Пирсона (r) и показатель степени доминантности (hp) рассчитывали и интерпретировали в соответствии с методиками, изложенными в монографиях [11, 13].

Результаты и обсуждение

У трех материнских форм длина семени составляла 2,75-3,26 мм, длина эндосперма 2,55-3,04 мм, длина зародыша 1,02-1,56 мм. Морфометрические параметры семян ЦМС линий, использованных в работе, были на уровне других культивируемых сортов моркови или незначительно меньше, что можно объяснить инбредной депрессией [7, 8].

Морфометрические параметры семян диких форм были ранее подробно описаны в работе [6]. Они были существенно меньше чем у культивируемых сортов моркови, так длина семени составляла 2,12-2,74 мм, длина эндосперма 1,54-2,53 мм, длина зародыша 0,61-0,93 мм.

Длина семени гибридов изменялась от 2,63 до 3,66 мм, длина эндосперма от 2,44 до 3,40 мм, а зародыша от 0,95 до 1,85 мм. У большинства гибридов все параметры находились на уровне среднепопуляционных значений (табл. 1).

Минимальными значениями (при 1 % уровне значимости) всех параметров отличался образец 8В х Д10, максимальными (при 5 % уровне значимости) образец 8В х Д11. Следует отметить, что образец 690П х Д23 характеризовалась очень крупным ($1,85 \pm 0,035$ мм) зародышем существенно превышающем среднее значение.

Таблица 1. Линейные параметры семян F₁ гибридов моркови

| Номер образца | Длина семени, мм | | Длина эндосперма, мм | | Длина зародыша, мм | |
|---------------|------------------------------------|------|------------------------------------|------|------------------------------------|------|
| | X _{CP} ± S _{XCP} | V, % | X _{CP} ± S _{XCP} | V, % | X _{CP} ± S _{XCP} | V, % |
| 8В x Д10 | **2,63±0,104 | 17,7 | **2,44±0,069 | 12,6 | **0,95±0,028 | 13,2 |
| 8В x Д11 | *3,66±0,087 | 10,6 | *3,40±0,109 | 14,3 | *1,20±0,031 | 11,6 |
| 200П x Д10 | 3,23±0,114 | 15,8 | 3,04±0,096 | 14,1 | 1,22±0,028 | 10,3 |
| 200П x Д18 | 2,99±0,093 | 13,9 | 2,76±0,088 | 14,3 | 1,42±0,029 | 9,1 |
| 200П x Д21 | *2,76±0,096 | 15,6 | **2,53±0,069 | 12,2 | **0,96±0,026 | 12,4 |
| 200П x Д27 | 3,22±0,092 | 12,8 | 3,02±0,089 | 13,2 | *1,13±0,032 | 12,7 |
| 690П x Д23 | 3,21±0,102 | 14,2 | 2,98±0,077 | 11,6 | **1,85±0,035 | 8,5 |

Примечание: * различия со средним значением параметра существенны при 5% уровне значимости
 ** различия со средним значением параметра существенны при 1% уровне значимости

Эндосперм семян F₁ гибридов составлял от 91,7 до 94,1 % длины семени, что свидетельствует о его хорошем развитии и максимальной выполненности семян (рис. 1). Длина зародыша относительно длины семени составляла 32,8–57,6 %, а относительно эндосперма – 35,3–62,1 %.

Последний (наиболее важный) показатель, характеризующий относительную длину зародыша

(степень его развития), у большей части гибридов, составлял 30-40 % и достигал максимального значения у F₁ 200П x Д18 (51,5 %) и 690П x Д23 (62,1 %). В ранее проведенных исследованиях у культивируемых сортов относительная длина зародыша изменялась (в том числе под влиянием разных факторов) в пределах 31,0–51,0 %, а у дикорастущих образцов 17,1–40,7 % [6].

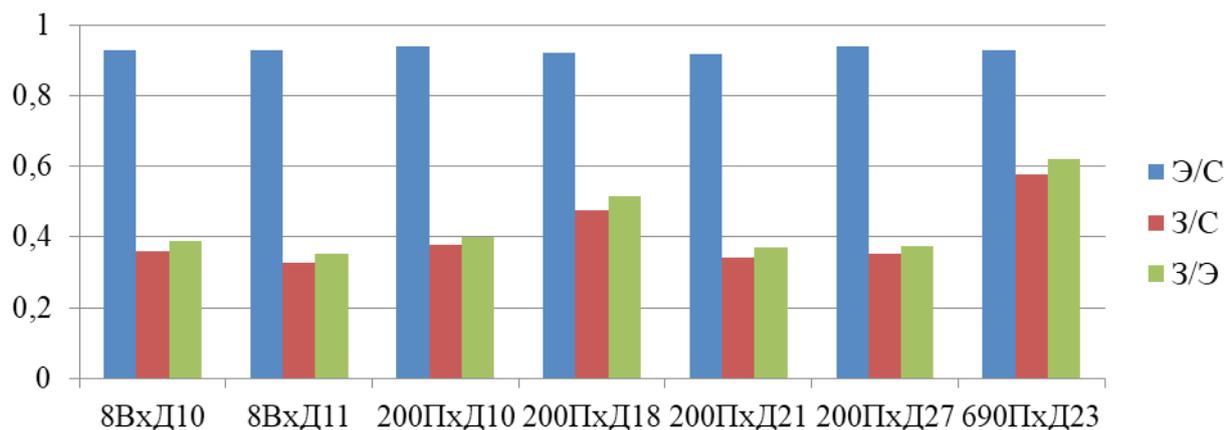


Рисунок 1. Значения индексов морфометрических параметров семян F₁ гибридов

Анализ корреляционных связей между морфометрическими параметрами семян F₁ гибридов моркови показал, что они изменяются также как у большинства других овощных зонтичных культур [8, 9]. Наиболее высокий коэффициент корреляции (от 0,816 до 0,983) отмечен между длиной семени и длиной эндосперма, указывая на сильную зависимость. Коэффициент корреляции между длиной семени и длиной зародыша не превышал значения 0,350. Степень сопряженности между длиной зародыша и длиной эндосперма изменялась от 0,021 до 0,376.

Таким образом, зависимость между линейными параметрами зародыша и семени или эндосперма была слабой, редко достигая среднего значения. Коэффициент корреляции, как правило, имел положительный знак, указывая на прямую связь.

Показатель доминантности рассчитывали как частное от деления разности значений признака у F₁ гибрида и среднего у родителей (P₁ и P₂) на поло-

вину разности значений признака родителей (взятой по абсолютной величине). А.А. Жученко приводит пять уровней градации показателя степени доминантности [13]. Анализ значений (диапазона градации) позволяет судить об определенных закономерностях наследования исследуемых признаков, хотя и с некоторой осторожностью.

Морфометрические параметры в физическом выражении преимущественно наследовались с положительной степенью доминантности (h_p), что указывает на уклонение гибридов в сторону родителя с большим значением параметра. Относительные значения параметров (индексы), как правило, наследовались с отрицательной степенью доминантности (h_p), что указывает на уклонение гибридов в сторону родителя с меньшим значением параметра (табл. 2).

По длине семени и эндосперма в 4, а по длине зародыша в 2 из 21 случаев степень доминирования (h_p) превышала 1,0, что указывало на сверх-

доминирование. Доминирование отмечено в 5 и промежуточное наследование в 6 из 21 случаев. При наследовании индексов также отмечено пре-

имущественно сверхдоминирование и доминирование и только 3 случая промежуточного наследования.

Таблица 2. Степень доминантности (h_r) линейных параметров семян F_1 гибридов

| F_1 гибриды | Семя | Эндосперм | Зародыш | $I_{э/с}$ | $I_{з/с}$ | $I_{з/э}$ |
|---------------|-------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 8В x Д10 | 0,146 | 0,153 | -0,393 | 0,600 | -1,182 | -1,279 |
| 8В x Д11 | 5,815 | 4,529 | 0,683 | 0,931 | -1,250 | -1,495 |
| 200П x Д10 | 1,675 | 1,725 | 0,630 | 2,500 | -1,429 | -0,975 |
| 200П x Д18 | 1,400 | 1,031 | 1,364 | -0,200 | 1,524 | 1,529 |
| 200П x Д21 | 0,174 | -0,128 | -0,727 | -2,875 | -1,253 | -1,019 |
| 200П x Д27 | 5,500 | 3,455 | 0,345 | 1,600 | -0,043 | -0,099 |
| 690П x Д23 | 0,935 | 0,920 | 1,611 | 0,810 | 2,540 | 2,846 |

При изучении особенностей наследования признаков семян очень важно учитывать биологию развития репродуктивных органов [16, 22]. Следует иметь в виду, что семена моркови с ботанической точки зрения являются плодами. Поэтому, внешние размеры семян определяет плодовая оболочка, которая развивается исключительно из тканей растения, на котором они образуются, а значит, контролируются генотипом материнского родителя. Это и определяло то, что семена, полученные в результате отдаленной гибридизации, по линейным размерам уклонялись в сторону P_1 родителей (более крупных) или превосходили их.

Наследование длины эндосперма происходило аналогичным образом. Отмечено только незначительное снижение значений доминантности (по сравнению с длиной семени) у всех изученных гибридов. И только у одного гибрида (200ПхД21) выявлено отклонение в сторону дикого родителя. Эндосперм формируется из триплоидных клеток (оплодотворенной центральной клетки), которые несут 2 набора хромосом от материнского родителя и 1 набор от отцовского. Наследование при этом обусловлено не только наличием рецессивных и доминантных генов, которые контролируют признаки эндосперма, но и числом геномных наборов, особенно в отношении количественных признаков. Это также определяет преимущественное отклонение признаков в сторону материнской формы.

Диплоидные клетки, из которых состоит зародыш, как правило, имеют гибридное происхождение (при условии слияния гамет). Данные, приведенные в таблице, показывают, что по длине зародыша 2 гибрида уклонялись в сторону диких родителей (имеющих меньшее значение признака), на что указывает отрицательная степень доминирования. Остальные 5 гибридов имели положительную степень доминантности, в том числе у двух гибридов она указывала на доминирование, у двух (200П x Д18 и 690П x Д23) на гетерозисный эффект и у одного гибрида на промежуточное наследование. Отмеченный факт резкого уменьше-

ния длины зародыша у двух гибридов (200П x Д21 и 8В x Д10) с одной стороны, может являться генетически обусловленным, а с другой – может быть следствием депрессии, вызванной несовместимостью родительских форм. В качестве материнских форм при гибридизации использованы стерильные формы (8В, 200П и 690П), которые были созданы Н.И. Жидковой [14, 19] для получения промышленных F_1 гибридов. Эти линии были взяты для того, чтобы исключить самоопыление материнских форм в процессе опыления их дикими формами. Однако линии оказались стерильными не полностью. Поэтому гибридность полученных образцов оказалась пониженной. Максимальная доля гибридов (94 %) отмечена при использовании линии 8В. Минимальную гибридность (86–92 %) обеспечили линии 200П и 690П. Наличие в популяции F_1 гибридов семян с материнским генотипом, несомненно вносило определенную погрешность в расчеты показателя h_r и приводило к повышению вариабельности морфометрических показателей (в том числе индексов) и статистических параметров (X_{CP} , S , S_{xcp} , V , C_v). Однако отделить гибриды от материнских особей на стадии семян не представлялось возможным. Повысить точность можно только за счет большей чистоты процесса опыления чего можно добиться в дальнейших исследованиях при опылении с ручной кастрацией.

Выводы

В процессе осуществления отдаленных скрещиваний в пределах рода *Daucus* выявлено, что F_1 гибриды по комплексу морфометрических параметров (в физическом выражении) семян преимущественно проявляли положительное сверхдоминирование (38,1 %) и доминирование (16,7 %). По комплексу относительных параметров (индексов) чаще отмечено отрицательное сверхдоминирование (23,8) и доминирование (4,8 %). Оставшиеся 16,6 % приходились на промежуточное наследование с отклонением в ту или иную сторону. Наиболее интересны гибриды, у которых отмечен эффект сверхдоминирования по длине зародыша

200П х Д18 (hr = 1,364) и 690П х Д23 (hr = 1,611). плоидностью тканей, из которых развиваются элементы семени, что следует учитывать при анализе Специфика наследования морфометрических параметров семян (степень доминирования) в значительной степени обусловлена происхождением и использованием результатов исследований, в том числе в селекции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Букасов, С.М. Селекция и семеноводство картофеля / С.М. Букасов, А.Я. Камераз. -Л.: Колос, 1972. – 357 с.
2. Бухарова, А.Р. Отдаленная гибридизация овощных пасленовых культур / А.Р. Бухарова, А.Ф. Бухаров // Монография. - Мичуринск, 2008. - 274 с.
3. Бухаров, А.Ф. Морфометрия в системе тестирования качества семян / А.Ф.Бухаров, Д.Н. Балеев, А.Р. Бухарова. - Москва, 2020. - 80 с.
4. Бухаров, А.Ф. Разнокачественность семян: теория и практика (обзор) / А.Ф. Бухаров // Овощи России. - 2020. - № 2. - С. 23-31.
5. Бухаров, А.Ф. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры / А.Ф. Бухаров, Д.Н. Балеев, А.Р. Бухарова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. - № 2. - С. 5-19.
6. Бухаров, А.Ф. Морфометрические параметры семян дикорастущих форм моркови как селекционные признаки / А.Ф. Бухаров, Н.А. Еремина, В.И. Леунов, Л.М. Соколова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. - Вып. 2. - С. 54-69.
7. Бухаров, А.Ф. Морфометрия семян петрушки и сельдерея / А.Ф.Бухаров, Д.Н.Балеев // Картофель и овощи. - 2014. - № 5. - С. 34-36.
8. Бухаров, А.Ф. Экологическая и сортовая изменчивость морфометрических параметров семян моркови / А.Ф.Бухаров, Д.Н.Балеев, Е.В.Кашнова, Г.В.Касаева, М.И.Иванова, О.А. Разин // Картофель и овощи. - 2019. - № 3. - С. 37-40.
9. Бухаров, А.Ф. Морфометрические параметры разнокачественности семян моркови и факторы их определяющие / А.Ф. Бухаров, Д.Н. Балеев, Ф.О. Фефелов, Н.А. Еремина // Овощи России. - 2020. - №4. - С. 32 – 36.
10. Вавилов, Н.И. Значение межвидовой гибридизации в селекции и эволюции. Избранные труды. Т.2. / Н.И.Вавилов М.: Изд-во АН СССР. 1960. - С. 444 – 460.
11. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А.Доспехов.- М.: Колос, 1985. - 415 с.
12. Еремин, Г.В. Отдаленная гибридизация косточковых плодовых растений / Г.В. Еремин. - М.: Агропромиздат. 1985. - 280 с.
13. Жученко, А.А. Генетика томата / А.А. Жученко.- Кишинев. Штиинца, 1973. - 663 с.
14. Жидкова, Н.И. Селекция сортов и гетерозисных гибридов моркови свысоким качеством продукции: автореф. дисс... д-ра с.-х. н / Н.И.Жидкова.- М.: 1996. -50 с.
15. Карпеченко, Г.Д. Теория отдаленной гибридизации / Г.Д. Карпеченко // Теоретические основы селекции растений.- М.-Л.: 1953. - Т. 1. - С. 293-354.
16. Карпеченко, Г.Д. Биология индивидуального развития (генетический аспект) / Г.Д. Карпеченко. – М.: Изд-во МГУ, 2002. - 264 с.
17. Курсаков, Г.А. Отдаленная гибридизация плодовых растений / Г.А. Курсаков.- М.: Агропромиздат, 1986. - 112 с.
18. Леунов, В.И. Генетическая коллекция диких видов и гибридов моркови по устойчивости к грибам *Alternaria* sp. и *Fusarium* sp. / В.И. Леунов, А.Н. Ховрин, Л.М. Соколова, О.О. Белошапкина, В.И. Старцев // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. - № 7. – С. 26–30.
19. Леунов, В.И. Столовые корнеплоды в России / В.И. Леунов. - Товарищество научных изданий КМК. Москва, 2011. - 272 с.
20. Леунов, В.И. Генетическая коллекция диких видов и гибридов моркови по устойчивости к грибам *Alternaria* sp. и *Fusarium* sp. / В.И.Леунов, А.Н.Ховрин, Л.М.Соколова, О.О.Белошапкина, В.И.Старцев // Достижения науки и техники АПК. - 2018. - Т. 32. - №7. - С. 26-30.
21. Леунов, В.И. Методы ускоренной селекции моркови столовой на комплексную устойчивость к грибным болезням (*Alternaria* и *Fusarium*). / В.И. Леунов, А.Н. Ховрин, Т.А. Терешонкова, Л.М. Соколова, Н.С. Горшкова, К.Л. Алексеева // Методические рекомендации. Москва Россельхозакадемия. ГНУ ВНИИО, 2011. - С. 61.
22. Лутова, Л.А. Генетика развития растений / Л.А. Лутова, Н.А. Проворов, О.Н. Тиходеев, И.А. Тихонович, Д.Т. Ходжайова, С.О. Шишкова. - СПб.: Наука, 2000. - 539 с.
23. Межвидовая гибридизация овощных растений / Коллективная монография. М.: ВНИИССОК, 2013. - 188 с.
24. Мусаев, Ф.Б.О. Цифровая морфометрия разнокачественности семян овощных культур / Ф.Б.О. Мусаев, Н.С. Прияткин, М.В. Архипов, П.А. Щукина, А.Ф. Бухаров, М.И. Иванова // Картофель и овощи. - 2018. - № 6. - С. 35-37.
25. Пименов, М.Г. Создание и оценка коллекции диких видов и разновидностей моркови / М.Г. Пименов, В.И. Леунов, А.Н. Ховрин, Л.М. Соколова, Т.Э. Клыгина // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2009. – Т. 166. – С. 446–450.
26. Семенов, А.Н. Сравнительный анализ полиморфизма микросателлитных маркеров у ряда видов рода *Fusarium* / А.Н. Семенов, М.Г. Дивашук, М.С. Баженов, Г.И. Карлов, В.И. Леунов, А.Н. Ховрин, А.А. Егорова, Л.М. Соколова, Т.А. Терешонкова, К.Л. Алексеева, В.М. Леунова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2016. - №1. - С. 40–50.
27. Соколова, Л.М. Применение последовательных отборов при селекции моркови столовой на устойчивость к *Fusarium* sp. и *Alternaria* sp. / Л.М. Соколова, А.Ф. Бухаров, М.И. Иванова // Аграрная наука. - 2020. – № 6. – С. 78–83.
28. Соколова, Л.М. Дикие виды *Daucus* L. в селекции и сохранении EX SITU в условиях Московской области / Л.М. Соколова, М.И. Иванова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. –

№ 2 (54). – С. 130–140.

29. Тимин, Н.И. Создание генетических источников ценных признаков овощных растений с использованием диких видов / Н.И. Тимин, С.М. Кривошеев // Генетические ресурсы культурных растений: Тезисы докладов Международной практической конференции. – СПб.: ВИР, 2001.

30. Тимин, Н.И. Межвидовая гибридизация моркови рода *Daucus* L.: Методические рекомендации / Н.И. Тимин, И.Т. Двоенко, С.В. Жевора, Л.Т. Тимина, Н.А. Шмыкова. – М.: ВНИИССОК, 2007. – 54 с.

31. Франсишку, Ж. Оценка устойчивости диких видов и разновидностей рода *Daucus* к патогену *Alternaria* / Ж. Франсишку, Е.В. Романова, Л.М. Соколова // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2015. – № 2 (23). – С. 6–8.

32. Цицин, Н.В. Теория и практика отдаленной гибридизации / Н.В. Цицин.-М.: Наука, 1981. - 100 с.

33. Яшина, И.М. Создание и генетическая оценка нового исходного материала картофеля и эффективные пути его использования в селекции: автореф. дис... д-р с.-х. н. / И.М.Яшина.- Москва, 2000. - 65 с.

34. Bolton, A. Variation for salinity tolerance during seed germination in diverse carrot (*Daucus carota* (L.) germplasm / A.Bolton, P. W. Simon // HortScience. - 2019. - № 54. -P. 38– 44. doi:10.21273/HORTSCI13333-18

35. Leunov, V.I. Resistance of carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and factors influencing it / V.I.Leunov, L.M.Sokolova, O.O.Beloshapkina, A.N Khovrin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2021. - № 624(1). - P. 234.

36. Luby, C. H. Genetic and phenological variation of tocochromanol (vitamin E) content in wild (*Daucus carota* L. var. *carota*) and domesticated carrot (*D. carota* L. var. *sativa*) / C. H.Luby, H. A.Maeda, I. L.Goldman // Hort. Res. - 2014. - № 1. -P. 14015. doi:10.1038/hortres.2014.15

37. Mezghani, N. Distributions and conservation status of carrot wild relatives in Tunisia: A case study in the western Mediterranean basin / N. Mezghani, C. K. Khoury, D. Carver // Crop Science. - 2019. - № 59. -P. 2317–2328. doi:10.2135/cropsci2019.05.0333

38. Necajeva, J. Seed dormancy and germination of an endangered coastal plant *Eryngium maritimum* (Apiaceae) / J.Necajeva, G.Ievinsh // Estonian Journal of Ecology. - 2013. - 62. - P. 150-161. doi:10.3176/eco.2013.2.06

39. Nijabat, A. Cell membrane stability and relative cell injury in response to heat stress during early and late seedling stages of diverse carrot (*Daucus carota* L.) germplasm / A. Nijabat, A. Bolton, M. Mahmood-ur-Rehman // Hortscience. - 2020. - № 55. - P. 1446–1452. doi: 10.21273/HORTSCI15058-20

40. Rahim, M. A. Carrot field trial results of CWR under, heat, drought and saline areas of Bangladesh / M. A.Rahim, A. T. Mannan // Annual Progress Report, BAURES, BAU. - 2019. – P. 90–99.

41. Simon, P. W. Compendium of plant genomes: The carrot genome / P. W. Simon, M. Iorizzo, D. Grzebelus // Cham, Switzerland: Springer Nature. - 2019. - P. 1–8. doi: 10.1002/9780470650172.ch5

42. Tas, P. Evaluating resistance to *Alternaria dauci* and related traits among diverse germplasm of *Daucus carota*. Ph. D. diss. / P. Tas - Univ. Wisconsin, Madison. 2016.

43. Turner, S. D. An automated image analysis pipeline enables genetic studies of shoot and root morphology in carrot (*Daucus carota* L.) / S. D. Turner, S. Ellison, D. A. Senalik // Frontiers in Plant Science. - 2018. - № 9. -P. 1703. – doi:10.3389/fpls.2018.01703

44. Vandeloos, F. Relative embryo length as an adaptation to habitat and life cycle in Apiaceae. / F.Vandeloos, S.B.Janssens, R.J. Probert // New Phytologist. - 2012. - 195: - P. 479–487 doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04172.x

REFERENCES

1. Bukasov, S.M. Potato breeding and seed production / S.M. Bukasov, A.Ya. Cameraz. -L.: Kolos, 1972. – 357 p.
2. Bukharova, A.R. Distant hybridization of vegetable nightshade crops / A.R. Bukharova, A.F. Bukharov. // Monograph. - Michurinsk, 2008. - 274 p.
3. Bukharov, A.F. Morphometry in the seed quality testing system / A.F.Bukharov, D.N. Baleev, A.R. Bukharova. - Moscow, 2020. - 80 p.
4. Bukharov, A.F. Seed diversity: theory and practice (review) / A.F. Bukharov // Vegetables of Russia. - 2020. - № 2. - P. 23-31.
5. Bukharov, A.F. Kinetics of seed germination. Research methods and parameters / A.F. Bukharov, D.N. Baleev, A.R.Bukharova // Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy. - 2017. - № 2. - P. 5-19.
6. Bukharov, A.F. Morphometric parameters of seeds of wild carrot forms as breeding characteristics / A.F. Bukharov, N.A. Eremina, V.I. Leunov, L.M. Sokolova // Izvestia of the Timiryazev Agricultural Academy. - 2022. - issue 2. - P. 54-69.
7. Bukharov, A.F. Morphometry of parsley and celery seeds / A.F.Bukharov, D.N.Baleev // Potatoes and vegetables. - 2014. - № 5. - P. 34-36.
8. Bukharov, A.F. Ecological and varietal variability of morphometric parameters of carrot seeds / A.F. Bukharov, D.N. Baleev, E.V. Kashnova, G.V. Kasaeva, M.I. Ivanova, O.A. Razin // Potatoes and vegetables. - 2019. - № 3. - P. 37-40.
9. Bukharov, A.F. Morphometric parameters of carrot seed quality and their determining factors / A.F. Bukharov, D.N. Baleev, F.O. Fefelov, N.A. Eremina // Vegetables of Russia. - 2020. - № 4. - P. 32-36.
10. Vavilov, N.I. The importance of interspecific hybridization in breeding and evolution. Selected works. / N.I. Vavilov M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. - 1960. - Vol. 2. - P. 444-460.
11. Dospekhov, B.A. Methodology of field experience / B.A.Dospekhov. - M.: Kolos, 1985. - 415 p.
12. Eremin, G.V. Remote hybridization of stone fruit plants / G.V. Eremin. - M.: Agropromizdat. - 1985. - 280 p.
13. Zhuchenko, A.A. Genetics of tomato / A.A. Zhuchenko.- Chisinau. Stiinets. - 1973. - 663 p.
14. Zhidkova, N.I. Selection of varieties and heterotic hybrids of carrots with high product quality: abstract. diss... of Dr. S.-H. N. / N.I. Zhidkova.- M.: 1996. -50 p.
15. Karpechenko, G.D. Theory of distant hybridization / G.D. Karpechenko // Theoretical foundations of plant breeding.- M.-L.: 1935. – V 1. - P. 293-354.
16. Karpechenko, G.D. Biology of individual development (genetic aspect) / G.D. Karpechenko. – M.: Publishing House

of Moscow State University, 2002. - 264 p.

17. Kursakov, G.A. Distant hybridization of fruit plants / G.A. Kursakov.- M.: Agropromizdat, 1986. - 112 p.
18. Leunov, V.I. Genetic collection of wild carrot species and hybrids for resistance to fungi *Alternaria* sp. and *Fusarium* sp. / V.I. Leunov, A.N. Khovrin, L.M. Sokolova, O.O. Beloshapkina, V.I. Startsev // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. - 2018. - Vol. 32. - № 7. - P. 26-30.
19. Leunov, V.I. Table root crops in Russia / V.I. Leunov. - The Association of Scientific Publications of the KMK. Moscow, 2011. -272 p.
20. Leunov, V.I. Genetic collection of wild carrot species and hybrids for resistance to fungi *Alternaria* sp. and *Fusarium* sp. / V.I. Leunov, A.N. Khovrin, L.M. Sokolova, O.O. Beloshapkina, V.I. Startsev // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. - 2018. - Vol. 32. - № 7. - P. 26-30.
21. Leunov, V.I. Methods of accelerated selection of table carrots for complex resistance to fungal diseases (*Alternaria* and *Fusarium*). / V.I. Leunov, A.N. Khovrin, T.A. Tereshonkova, L.M. Sokolova, N.S. Gorshkova, K.L. Alekseeva // Methodological recommendations. Moscow Agricultural Academy. GNU VNIIO, 2011. - P. 61.
22. Lutova, L.A. Genetics of plant development / L.A. Lutova, N.A. Provorov, O.N. Tichodeev, I.A. Tikhonovich, D.T. Khodzhayova, S.O. Shishkova. - St. Petersburg: Nauka, 2000. - 539 p.
23. Interspecific hybridization of vegetable plants / Collective monograph. Moscow: VNISSOK, 2013. - 188 p.
24. Musaev, F.B.O. Digital morphometry of the heterogeneity of vegetable seeds / F.B.O. Musaev, N.S. Paladkin, M.V. Arkhipov, P.A. Shchukina, A.F. Bukharov, M.I. Ivanova // Potatoes and vegetables. - 2018. - № 6. - P. 35-37.
25. Pimenov, M.G. Creation and evaluation of a collection of wild species and varieties of carrots / M.G. Pimenov, V.I. Leunov, A.N. Khovrin, L.M. Sokolova, T.E. Klygina // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. - 2009. - Vol. 166. - P. 446-450.
26. Semenov, A.N. Comparative analysis of polymorphism of microsatellite markers in a number of species of the genus *Fusarium* / A.N. Semenov, M.G. Divashuk, M.S. Bazhenov, G.I. Karlov, V.I. Leunov, A.N. Khovrin, A.A. Egorova, L.M. Sokolova, T.A. Tereshonkova, K.L. Alekseeva, V.M. Leunova // Proceedings of the Timiryazevsky Agricultural Academy. - 2016. - № 1. - P. 40-50.
27. Sokolova, L.M. The use of sequential selections in the selection of table carrots for resistance to *Fusarium* sp. and *Alternaria* sp. / L.M. Sokolova, A.F. Bukharov, M.I. Ivanova // Agrarian science. - 2020. - № 6. - P. 78-83.
28. Sokolova, L.M. Wild species of *Daucus* L. in breeding and EX SITU conservation in the conditions of the Moscow region / L.M. Sokolova, M.I. Ivanova // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. - 2021. - № 2 (54). - P. 130-140.
29. Timin, N.I. Creation of genetic sources of valuable traits of vegetable plants using wild species / N.I. Timin, S.M. Krivosheev // Genetic resources of cultivated plants: Abstracts of reports of the International Practical Conference. - St. Petersburg: VIR, 2001.
30. Timin, N.I. Interspecific hybridization of carrots of the genus *Daucus* L.: Methodological recommendations / N.I. Timin, I.T. Dvoenko, S.V. Zhevorra, L.T. Timina, N.A. Shmykova. - M.: VNISSOK, 2007. - 54 p.
31. Francisco, J. Assessment of the resistance of wild species and varieties of the genus *Daucus* to the pathogen *Alternaria* / J. Francisco, E.V. Romanova, L.M. Sokolova // Theoretical and applied problems of the agro-industrial complex. - 2015. - № 2 (23). - P. 6-8.
32. Tsitsin, N.V. Theory and practice of remote hybridization / N.V. Tsitsin. -M.: Nauka, 1981. - 100 p.
33. Yashina, I.M. Creation and genetic evaluation of a new potato source material and effective ways of its use in breeding: atoref. dis... Dr. S.-H. N. / I.M. Yashina.- Moscow, 2000. - 65 p.
34. Bolton, A. Variation for salinity tolerance during seed germination in diverse carrot (*Daucus carota* (L.)) germplasm / A. Bolton, P. W. Simon // HortScience. - 2019. - № 54. - P. 38– 44. doi:10.21273/HORTSCI13333-18
35. Leunov, V.I. Resistance of carrots to *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. and factors influencing it / V.I. Leunov, L.M. Sokolova, O.O. Beloshapkina, A.N. Khovrin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2021. - № 624(1). - P. 234.
36. Luby, C. H. Genetic and phenological variation of tocochromanol (vitamin E) content in wild (*Daucus carota* L. var. *carota*) and domesticated carrot (*D. carota* L. var. *sativa*) / C. H. Luby, H. A. Maeda, I. L. Goldman // Horticulture Res. - 2014. - № 1. - P. 14015. doi:10.1038/hortres.2014.15
37. Mezghani, N. Distributions and conservation status of carrot wild relatives in Tunisia: A case study in the western Mediterranean basin / N. Mezghani, C. K. Houry, D. Carver // Crop Science. - 2019. - № 59. -P. 2317–2328. doi:10.2135/cropsci2019.05.0333
38. Necajeva, J. Seed dormancy and germination of an endangered coastal plant *Eryngium maritimum* (Apiaceae) / J. Necajeva, G. Levinsh // Estonian Journal of Ecology. - 2013. - 62: - P. 150–161 doi:10.3176/eco.2013.2.06
39. Nijabat, A. Cell membrane stability and relative cell injury in response to heat stress during early and late seedling stages of diverse carrot (*Daucus carota* L.) germplasm / A. Nijabat, A. Bolton, M. Mahmood-ur-Rehman // Horticulture Res. - 2020. - № 55. - P. 1446-1452. doi: 10.21273/HORTSCI115058-20
40. Rahim, M. A. Carrot field trial results of CWR under, heat, drought and saline areas of Bangladesh / M. A. Rahim, A. T. Mannan // Annual Progress Report, BAURES, BAU. - 2019. - P. 90-99.
41. Simon, P. W. Compendium of plant genomes: The carrot genome / P. W. Simon, M. Iorizzo, D. Grzebelus // Cham, Switzerland: Springer Nature. - 2019. - P. 1–8. doi: 10.1002/9780470650172.ch5
42. Tas, P. Evaluating resistance to *Alternaria* dauci and related traits among diverse germplasm of *Daucus carota*. Ph. D. diss. / P. Tas - Univ. Wisconsin, Madison. - 2016.
43. Turner, S. D. An automated image analysis pipeline enables genetic studies of shoot and root morphology in carrot (*Daucus carota* L.). / S. D. Turner, S. Ellison, D. A. Senalik // Frontiers in Plant Science. - 2018. - № 9. -P. 1703. - doi:10.3389/fpls.2018.01703
44. Vandeloos, F. Relative embryo length as an adaptation to habitat and life cycle in Apiaceae. / F. Vandeloos, S.B. Janssens, R.J. Probert // New Phytologist. - 2012. - 195. - P 479-487. doi: 10.1111/j.1469-8137.2012.04172.x

Александр Федорович Бухаров

Главный научный сотрудник сектора семеноведения
E-mail: afb56@mail.ru

Любовь Михайловна Соколова

Ведущий научный сотрудник сектора селекции и семеноводства корнеплодных культур
E-mail: Isokolova74@mail.ru

Надежда Александровна Еремина

Младший научный сотрудник сектора семеноведения
E-mail: galanova.nadejda@yandex.ru

Все: Всероссийский научно – исследовательский институт овощеводства - филиала ФГБНУ ФНЦО 140153, Московская обл., Раменский р – он, д. Верея, стр. 500

Владимир Иванович Леунов

Профессор кафедры овощеводства института садоводства и ландшафтной архитектуры
E-mail: vileunov@mail.ru

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Альмира Рахметовна Бухарова

Декан факультета агро- и биотехнологий
E-mail: regnbukh@inbox.ru

Российский государственный аграрный заочный университет (ФГБОУ ВО РГАЗУ)
143907, Московская область, г. Балашиха, ул. Шоссе Энтузиастов, д. 50,

Alexander Fedorovich Bukharov

Chief Researcher of the Seed Science Sector
E-mail: afb56@mail.ru

Lyubov Mikhailovna Sokolova

Leading researcher in the sector of breeding and seed production of root crops
E-mail: Isokolova74@mail.ru

Nadezhda Alexandrovna Eremina

Junior Researcher in the Seed Science Sector
E-mail: galanova.nadejda@yandex.ru

All: All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution FNTSO p. 500, Vereya village, Ramenskoye district, Moscow region, 140153, Russia

Vladimir Ivanovich Leunov

Professor of the department of Vegetable Growing at the Institute of Horticulture and Landscape Architecture
E-mail: vileunov@mail.ru

Federal State Budgetary Educational Institution of the Russian State Agrarian University-Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev 49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127550, Russia

Almira Rakhmetovna Bukharova

Dean of the Faculty of Agro-and Biotechnology
E-mail: regnbukh@inbox.ru

Russian State Agrarian Correspondence University (FGBOU IN RGAZU)
50, Highway Enthusiasts str., Balashikha, Moscow region, 143907, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-39-45

УДК: 332.334:911.5:633.18

Туманьян Н.Г., д-р биол. наук,
Кумейко Т.Б., канд. с.-х. наук,
Ольховая К.К.
г. Краснодар, Россия

КАЧЕСТВО СОРТОВ РИСА СЕЛЕКЦИИ ФНЦ РИСА, ПЕРЕДАННЫХ НА ГОССОРТОИСПЫТАНИЕ В 2019-2023 ГГ., ПО ТРЕЩИНОВАТОСТИ ЗЕРНА В СВЯЗИ С СОДЕРЖАНИЕМ АМИЛОЗЫ

Амилоза входит в состав крахмала риса и является важнейшим биохимическим и структурным веществом, определяющим физические, пищевые свойства и кулинарные достоинства сортов. В работе поставлена цель и представлены результаты изучения влияния амилозы запасного крахмала на важный технологический признак «трещиноватость зерна», который определяет качество вырабатываемой крупы. Трещинообразование в зерне происходит при его созревании, уборке, сушке, транспортировке из-за расклинивающего действия воды. Материалом исследований служило зерно сортов риса, выращенных в 2017-2023 гг. и переданных на госсортоиспытание в 2019-2023 гг. Трещиноватость определяли с помощью диафаноскопа, содержание амилозы - колориметрически по амилозно-йодной реакции по ГОСТу ISO 6647-2-2015. К сортам со стабильно низкими показателями трещиноватости зерна были отнесены сорта Вектор, Трио, Форсаж, Тритон, Конкурент и Булат (до 10 %). У среднеамилозных сортов Трио, Классик, Булат трещиноватость соответственно была 3, 10, 9 % - ниже, чем у низкоамилозных сортов Флагман, Диамант, Корнет, Биотех, Рапан 2, Регул 2, Атлет. У среднеамилозных сортов Романс и Престиж (20,1 %), трещиноватость однако была высокой. Для всех сортов коэффициент корреляции содержания амилозы и трещиноватости зерна характеризовался низким значением (-0,25). Исследование влияния содержания амилозы в зерне риса на трещиноватость в условиях Кубани следует продолжить при вовлечении обширного генетического материала риса с содержанием амилозы ниже 17 % и более 23 %.

Ключевые слова: рис, сорт, зерно, амилоза, трещиноватость.

THE QUALITY OF RICE VARIETIES SELECTED BY THE FSC OF RICE SUBMITTED FOR STATE EXPORT TESTING IN 2019-2023, ACCORDING TO GRAIN FRACTURING DUE TO AMYLOSE CONTENT

Amylose is a part of rice starch and is the most important biochemical and structural substance that determines the physical, nutritional properties and culinary advantages of varieties. The paper sets a goal and presents the results of studying the effect of amylose of reserve starch on an important technological feature "grain fracturing", which determines the quality of the produced cereals. Cracking in the grain occurs during its maturation, harvesting, drying, and transportation due to the wedging action of water. The research material was grain of rice varieties grown in 2017-2023 and submitted for state export testing in 2019-2023. Fracturing was determined using a diaphanoscope. The content of amylose is colorimetrically, according to the amylose-iodine reaction according to GOST ISO 6647-2-2015. Vector, Trio, Forsazh, Triton, Konkurent and Bulat varieties (up to 10 %) were classified as varieties with consistently low grain fracture rates. In medium-amylose varieties: Trio, Classic, Bulat - fracturing was 3, 10, 9 %, respectively, lower than in low-amylose varieties Flagman, Diamant, Cornet, Biotech, Rapan 2, Regul 2, Athlet. In the medium-amylose varieties Romance (22 %) and Prestige (36 %), however, fracturing was high. For all varieties, the correlation coefficient of amylose content and grain fracturing was characterized by a low value of the indicator (-0.25). The study of the effect of amylose content in rice grains on fracturing in Kuban conditions should be continued with the involvement of extensive genetic material of rice with an amylose content below 17 % and more than 23 %.

Key words: rice, variety, grain, amylose, fracturing.

Введение

Качество зерна риса является одной из ключевых задач, которую необходимо реализовывать и улучшить в селекционном процессе. Оно охватывает комплекс технологических параметров зерна, пищевые, питательные свойства, внешний вид, кулинарные достоинства. Качество приготовления и использование в пищу относится к потреблению

рисопродуктов и в основном определяется структурой и составом крахмала. Структура и состав крахмала во многом определяют качество риса, поскольку крахмал является основным запасующим веществом в эндосперме. Увеличение потребительских предпочтений и рыночного спроса требует точного контроля крахмала, особенно параметра содержания амилозы в крахмале зерна.

Крахмал составляет более 80 % запасного материала в эндосперме риса и состоит на 0–30 % из амилозы и соответственно от 70 % из амилопектина. Амилоза в основном содержит сотни единиц глюкозы с линейными связями, амилопектин – тысячи единиц глюкозы и сильно разветвлен через α -1,6-гликозидную связь на основе амилозы [16]. В последние годы выявлены новые функции некоторых генов синтеза крахмала и выделено множество генов, участвующих в регуляции развития семян [24]. Содержание амилозы генетически контролируется основным локусом Wx и несколькими второстепенными локусами, такими как $qSAC3$, $qAC8-1$ и $qAC8-2$, которые могут стабильно влиять на него при различных условиях. Ген Wx кодирует синтез гранулолосвязанного крахмала I (GBSSI), который является ключевым ферментом синтеза амилозы в рисе [9]. Вариации Wx могут объяснить большинство значительных изменений содержания амилозы в крахмале риса. Многие аллельные Wxs , такие как Wx^a , Wx^b , Wx^{in} , Wx^{mq} , Wx^{lv} и др. объясняют основные вариации содержания амилозы в зародышевой плазме риса. С развитием биотехнологии были созданы новые аллели Wx . Отсутствие амилозы в крахмале обусловлено делецией на 23 п.н. в локусе Wx [11, 14, 24].

Аллели Wx^{lv} и Wx^a без мутаций отвечают за типы с высоким содержанием амилозы в крахмале более 25 %, однако могут обуславливать различную вязкость крахмальной дисперсии [19]. Аллели Wx^b и $Wx^{mw/la}$ определяют низкое содержание (14–15 %), Wx^{1-1} , Wx^{mp} , Wx^{mq} и $Wx^{op/hp}$ – очень низкое (8–12 %) содержание амилозы в крахмале у риса. Делеция на 23 п.н. в локусе Wx (аллель Wx) ответственна за отсутствие амилозы в крахмале восковидного риса. Wx^{lv} произошел непосредственно от дикого риса, а три основных аллеля Wx в культурном рисе (Wx^b , Wx^a и Wx^{in}) дифференцировались после замены одной пары оснований в функциональных сайтах [23]. Клейкий рис произошел от дикого риса Южного Китая параллельно с дифференциацией подвидов индики и японики [13].

Новый аллель Wx^{la} , который объединил две мутации от Wx^b и Wx^{in} , продемонстрировал уникальный фенотип. Снижение активности GBSSI придавало рису Wx^{la} прозрачный внешний вид и хорошие пищевые качества [22, 25]. Отмечено изменение физико-химических свойств крахмала риса при различных комбинациях генетических аллелей [21].

Было обнаружено, что факторы окружающей среды, такие как температура, свет и почва, очевидно влияют на качество риса, причем температура окружающей среды оказывает наибольшее влияние на содержание амилозы риса [2, 3, 8]. Помимо генов, которые регулируют экспрессию Wx и

активность GBSSI, обнаруживается все большее число новых факторов и путей, влияющих на синтез амилозы [15]. Получены новые виды клейкого риса с помощью CRISPR/Cas9 – направленного мутагенеза гена восковидности у элитных сортов риса [31].

Содержание амилозы в крахмале зерна риса влияет на пищевые свойства и кулинарные достоинства риса [17, 20]. Рис из восковидных сортов используется для выработки детского и диетического питания. Низкоамилозный рис пригоден для приготовления каш, сладких десертов, пудингов, котлет, там где необходимы его клейкие свойства; рис со средним и высоким содержанием амилозы – для приготовления различных видов плова и гарниров, то есть в кулинарии рассыпчатых рисовых блюд. Различное содержание амилозы в зерне обуславливает клейстеризующие свойства крахмальной дисперсии, важного показателя качества для определения кулинарных достоинств риса [6, 7]. Однако известно, что физические свойства риса определяются не только содержанием амилозы, но и структурой крахмала [12].

Состав крахмала в зерне риса влияет на физические свойства риса. Одним из важнейших физических параметров зерна риса, обусловленных физическими свойствами является его способность к дроблению, как правило, выраженному в виде технологического признака «трещиноватость» зерна.

Трещинообразование в зерне происходит при его созревании, уборке, сушке, транспортировке из-за расклинивающего действия воды. К образованию трещин в зерновке приводят изменение температуры и влажности окружающей среды, сопровождающиеся изменением равновесной влажности зерна риса в период его налива. Такие изменения приводят к неравномерному распределению влаги в зерне и, как следствие, к объемно-напряженному состоянию. В зерне появляются трещины, когда величина этого состояния превышает предельно допустимое значение, зависящее от прочности риса [1]. Трещиноватость зерна может быть различной по содержанию трещиноватых зерен (от 0–100 %), по характеру (микро- и макротрещины) и количеству трещин в зерновке.

Увеличение трещиноватости зерна приводит к снижению качества зерна за счет увеличения интенсивности дробления. Параметр трещиноватости зерна, который обусловлен реакцией генотипов на условия выращивания, уборки, переработки, является одним из основных в селекционном процессе. Рис на Кубани зреет в условиях суховея, высоких дневных температур воздуха, контрастных ночью и днем, что приводит к возрастанию трещиноватости зерна. Различные сорта по-разному реагируют на условия вегетации, одни

проявляют стабильность, другие значительно снижают качество в неблагоприятных условиях. При поздних сроках уборки трещиноватость возрастает и повышается при перестое риса на корню [4, 5].

Трещинообразование в зерне риса является следствием его физического состояния, которое в свою очередь зависит от состава и структуры запасного крахмала крахмалистой паренхимы зерновки. Вопрос о влиянии содержания амилозы на трещинообразование зерна в условиях Кубани однозначно не решен. В России за последние годы созданы сорта риса с различным содержанием амилозы в крахмале и различной реакцией на условия среды. Характер влияния содержания амилозы на важнейший признак трещиноватости зерна в период налива и уборки позволит оптимизировать задачи создания сортов с необходимым содержанием амилозы и реализацией показателя трещиноватости в оптимально низких пределах.

Цель исследований

Изучить влияние амилозы запасного крахмала зерна риса на технологический признак «трещиноватость зерна» у сортов, переданных в госсортоиспытание в 2019-2023 гг.

Материалы и методы

Материалом исследований служило зерно сортов риса Флагман, Престиж, Восход, Утес, Романс, Фаворит, Фрегат, Рубикон, Диалог, Полюс 5,

Рапан 2, Юниор, Трио, Корнет, Форсаж, Биотех, Классик, Вектор, Клавдий, Стромбус, Регул 2, Атлет, Тритон, Конкурент, Валентина, Булат, выращенных в 2017-2023 гг. и переданных на госсортоиспытание в 2019-2023 гг. Трещиноватость определяли с помощью диафаноскопа ДСЗ-3, содержание амилозы колориметрически, по амилозно-йодной реакции по ГОСТу ISO 6647-2-2015 [10]. Статистическую обработку данных проводили с помощью программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В 2019 г. на государственное сортоиспытание были переданы сорта риса Престиж, Восход, Утес и Романс, в 2020 г. – Фрегат, Рубикон, Диалог и Полюс 5, в 2021 г. – Юниор, Трио, Корнет, Форсаж и Биотех, в 2022 г. – Классик, Вектор, Клавдий, Стромбус и Регул 2, в 2023 г. – Атлет, Тритон, Корнет, Валентина, Булат. Из них с повышенной крупностью зерна (масса 1000 а. с. з. более 27,0 г) – Престиж, Восход, Диалог, Корнет, Форсаж, Вектор, Клавдий, Стромбус. Среднезерные сорта – Престиж, Восход, Трио, Форсаж, Биотех, Вектор, Клавдий, Стромбус, Регул 2, Тритон и Валентина; остальные – короткозерные сорта. Для каждого сорта были изучены и проанализированы показатели признаков содержания амилозы и трещиноватости зерна. Полученные результаты для сортов, переданных в госсортоиспытание в 2019 г., представлены в таблице 1.

Таблица 1. Содержание амилозы и трещиноватость зерна сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2019 г.

| Сорт | Содержание амилозы, % | Трещиноватость | |
|----------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|
| | | % | Коеф. вариации (Cv) |
| Флагман, st | 17,8 | 17 | 30,4 |
| Фаворит, st | 19,6 | 17 | 43,6 |
| Престиж | 20,1 | 36 | 33,9 |
| Восход | 19,2 | 9 | 96,4 |
| Утес | 18,0 | 11 | 68,5 |
| Романс | 20,1 | 22 | 45,3 |
| НСР ₀₅ | 0,59 | - | - |
| Коеффициент корреляции (r) | 0,61 | - | - |

К сортам с повышенным содержанием амилозы (от 19,2 до 20,1 %) отнесены Престиж, Восход и Романс. У сортов Флагман и Утес содержание амилозы было низким: от 17,8 до 18,0 %. Сорт Романс отнесен к среднеамилозным, с содержанием амилозы 20,1 %, сорт Фаворит с повышенным содержанием амилозы – 19,6 % (считали содержание амилозы повышенным – от 19,0 %). По трещиноватости сорта Флагман, Утес и Романс отнесены к группе со средней градацией признака, сорт Престиж – к высокой, сорт Восход – к низкой. У сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2019 г. отмечена высокая вариабельность признака качества зерна «трещиноватость» от 30,4 % (сорт Флагман) до 96,4 % (сорт Восход). Отмечена сред-

няя положительная корреляция между признаками «содержание амилозы» и трещиноватость» при $r=0,61$ (табл. 1).

У сортов риса, переданных в 2020 г. в Госсорткомиссию, содержание амилозы было на одном уровне и варьировало от 17,4 % у сорта Фрегат до 18,9 % у сортов Рубикон и Диалог. Все сорта отнесены к низкоамилозным со средней трещиноватостью. У сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2020 г., отмечена высокая вариабельность признака качества зерна «трещиноватость» от 30,4 % (сорт Флагман) до 57,4 % (сорт Фрегат). Отмечена умеренная положительная корреляция между признаками «содержание амилозы» и «трещиноватость» при $r=0,47$ (табл. 2).

Таблица 2. Содержание амилозы и трещиноватость зерна сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2020 г.

| Сорт | Содержание амилозы, % | Трещиноватость, % | |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| | | % | Коэф. вариации (Cv) |
| Флагман, st | 17,8 | 17 | 30,4 |
| Фаворит, st | 19,6 | 17 | 43,6 |
| Фрегат | 17,4 | 11 | 57,4 |
| Рубикон | 18,9 | 14 | 49,6 |
| Диалог | 18,9 | 21 | 56,5 |
| Полюс 5 | 18,2 | 21 | 57,4 |
| НСР ₀₅ | 0,54 | - | - |
| Коэффициент корреляции (r) | 0,47 | | - |

Сорта риса Рапан 2, Юниор, Корнет и Биотех (содержание амилозы 17,9; 16,7; 17,4; 18,3 % соответственно) имели пониженное содержание амилозы и среднюю трещиноватость, от 13 % (сорт Юниор) до 26 % (сорт Корнет). Сорта риса Фаворит, Трио и Форсаж (содержание амилозы 19,8; 20,3; 19,6 % соответственно), отнесены к среднеамилозным. Сорта риса Трио и Форсаж имели низкую

трещиноватость, от 3 % (сорт Трио) до 8 % (сорт Форсаж). У сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2021 г., отмечена высокая вариабельность признака качества зерна «трещиноватость», от 26,4 % (сорт Форсаж) до 66,0 % (сорт Рапан 2). Отмечена умеренная отрицательная корреляция между признаками «содержание амилозы» и «трещиноватость» при $r = -0,58$ (табл. 3).

Таблица 3. Содержание амилозы и трещиноватость зерна сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2021 г.

| Сорт | Содержание амилозы, % | Трещиноватость, % | |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| | | % | Коэф. вариации (Cv) |
| Рапан 2, st | 17,9 | 16 | 66,0 |
| Фаворит, st | 19,6 | 17 | 43,6 |
| Юниор | 16,7 | 13 | 60,3 |
| Трио | 20,3 | 3 | 61,0 |
| Корнет | 17,4 | 19 | 50,9 |
| Форсаж | 19,6 | 8 | 26,4 |
| Биотех | 18,3 | 19 | 45,2 |
| НСР ₀₅ | 0,34 | - | - |
| Коэффициент корреляции (r) | -0,58 | | - |

С повышенным содержанием амилозы отмечены сорта Классик и Вектор. Значения признака находились в пределах от 19,5 % (сорт Вектор) до 23,8 % (сорт Классик). Сорт Классик отнесен к среднеамилозным. У сортов Классик и Вектор значения признака «трещиноватость» существенно не различались и составляли 10 и 8 % соответственно. Рапан 2, Клавдий, Стромбус и Регул 2

отнесены к низкоамилозным. У сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2022 г., отмечена высокая вариабельность признака качества зерна «трещиноватость» от 32,2 % (сорт Клавдий) до 88,1 % (сорт Вектор). Отмечена умеренная отрицательная корреляция между признаками «содержание амилозы» и «трещиноватость» при $r = -0,57$ (табл. 4).

Таблица 4. Содержание амилозы и трещиноватость зерна сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2022 г.

| Сорт | Содержание амилозы, % | Трещиноватость, % | |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| | | % | Коэф. вариации (Cv) |
| Рапан 2, st | 17,9 | 16 | 66,0 |
| Фаворит, st | 19,6 | 17 | 43,6 |
| Классик | 23,8 | 10 | 64,9 |
| Вектор | 19,5 | 8 | 88,1 |
| Клавдий | 18,8 | 14 | 32,2 |
| Стромбус | 17,9 | 14 | 48,5 |
| Регул 2 | 15,3 | 16 | 79,8 |
| НСР ₀₅ | 0,42 | - | - |
| Коэффициент корреляции (r) | -0,21 | | - |

Сорта риса Фаворит, Атлет, Конкурент и Булат характеризовались повышенным содержанием амилозы: значения признака от 19,1 % (сорт Конкурент) до 20, 4 % (сорт Булат). У сортов Конкурент, Тритон и Булат трещиноватость была низкой и составляла 5, 8, 9 % соответственно. Сорт риса Булат отнесен к среднеамилозным с содержа-

ем амилозы 20,4 %. У сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2023 г., отмечена высокая вариабельность признака качества зерна «трещиноватость» от 39,9 % (сорт Тритон) до 80,1 % (сорт Булат). Отмечена слабая отрицательная корреляция между признаками «содержание амилозы» и «трещиноватость» при $r = -0,21$ (табл. 5).

Таблица 5. Содержание амилозы и трещиноватость зерна сортов риса, переданных в Госсорткомиссию в 2023 г.

| Сорт | Содержание амилозы, % | Трещиноватость, % | |
|----------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|
| | | % | Коэф. вариации (Cv) |
| Рапан 2, st | 17,9 | 16 | 66,0 |
| Фаворит, st | 19,6 | 17 | 43,6 |
| Атлет | 19,7 | 20 | 47,7 |
| Тритон | 18,8 | 8 | 39,9 |
| Конкурент | 19,1 | 5 | 65,5 |
| Валентина | 18,6 | 25 | 45,3 |
| Булат | 20,4 | 9 | 80,1 |
| НСР ₀₅ | 0,38 | - | - |
| Коэффициент корреляции (r) | -0,21 | | - |

Трещиноватость зависит от погодных условий периода вегетации. Высокий коэффициент вариации признака (60,3-80,1 %) у сортов Восход, Утес, Рапан 2, Юниор, Трио, Классик, Вектор, Регул 2, Фаворит, Конкурент, Булат свидетельствует о высокой изменчивости сортов в связи с условиями выращивания. У сортов Флагман, Престиж, Форсаж, Клавдий коэффициент корреляции был ниже, до 40 %. Коэффициент корреляции между трещиноватостью и содержанием амилозы для сортов, переданных в госсортосеть в 2019-2023 гг., составил -0,25, что свидетельствует о слабом влиянии содержания амилозы на признак или его отсутствии.

Выводы

К сортам со стабильно низкими показателями трещиноватости зерна были отнесены Вектор, Трио, Форсаж, Тритон, Конкурент и Булат (до 10 %). У среднеамилозных сортов: Трио, Классик, Булат - трещиноватость соответственно была 3, 10, 9 %, ниже, чем у низкоамилозных сортов Флагман, Диамант, Корнет, Биотех, Рапан 2, Регул 2, Атлет. Од-

нако у среднеамилозных сортов Романс и Престиж (20,1 %) трещиноватость была высокой (22 и 36 % соответственно), что подтверждается значениями коэффициентов корреляции для групп сортов разных периодов передачи сортов в государственное сортоиспытание и низкого значения коэффициента корреляции (-0,25) для всех сортов. Повышенная трещиноватость сортов Стромбус, Валентина может быть обусловлена крупностью зерновки.

Отсутствие результатов, однозначно подтверждающих влияние содержания амилозы на важнейший технологический признак трещиноватости зерна, может быть обусловлено как непосредственно отсутствием такого влияния, так и недостаточным набором сортов, характеризующихся широким размахом показателя признака «содержание амилозы».

Исследование влияния содержания амилозы в зерне риса на трещиноватость в условиях Кубани следует продолжить при вовлечении обширного генетического материала риса с содержанием амилозы ниже 17 % и более 23 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кешаниди, Х.Л. Технологическая оценка риса-зерна / Х.Л. Кешаниди, Е.Д. Казаков - М.: Агропромиздат, 1985. - 79 с.
2. Кумейко, Т.Б. Оценка исходного материала риса по содержанию амилозы в зерновке в селекции низко- и среднеамилозных сортов / Т.Б. Кумейко, Н.Г. Туманьян // Труды Кубанского государственного аграрного университета. - 2019. - № 80. - С. 162-166.
3. Кумейко, Т.Б. Изменчивость сортов риса селекции ФНЦ риса с пониженным содержанием амилозы по форме зерновки и выходу крупы в связи с различными дозами азотных удобрений в Абинском районе Краснодарского края / Т.Б. Кумейко, Н.Г. Туманьян // Сборник «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса трудов XXIV Агропромышленного форума юга России»: выставка «Интерагромаш», «Агротехнологии». - 2021. - С. 552-555.
4. Туманьян, Н.Г. Изменение качества зерна в связи с перестоем на корню растений риса / Н.Г. Туманьян // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов». - 2021. - Курск: ФГБНУ «Курский ФАН центр». - С. 18-20. doi:10.18411/isbn978-5-907407-45-9-164-2021.
5. Туманьян, Н.Г. Качество зерна сортов риса на государственных сортоучастках Краснодарского края в 2020,

- 2021 г. / Н.Г. Туманьян, С.В. Гаркуша, Т.Б. Кумейко, К.К. Ольховая // Рисоводство. – 2023. – № 1 (58). – С. 14-22.
6. Allahgholipour, M. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties / M. Allahgholipour, A. J. Ali, F. Alinia, T. Nagamine, Y. Kojima // *Plant Breeding* – 2006. – V. 125. – P. 357-362. doi: 10.1111/j.1439-0523.2006.01252.x
 7. Cagampang, G.B. A gel consistency test for eating quality of rice / G.B. Cagampang, C.M. Perez, B.O. Juliano // *J. of Food and Agriculture*. – 1973. – V. 24. – P. 1589-1594. doi:10.1002/jsfa.2740241214
 8. Chen, M.H. Waxy gene haplotypes: Associations with apparent amylose content and the effect by the environment in an international rice germplasm collection / M. H. Chen, C. Bergman, S. Pinson, R. Fjellstrom // *J. of Cereal Science*. – 2008. – P. 536-545. doi: 10.1016/j.jcs.2007.06.013
 9. Huang, L. Waxy editing: old meets new / L. Huang, N. Sreenivasulu, Q. Liu // *Trends Plant Sci*. – 2020. – V. 25. – P. 963-966. doi: 10.1016/j.tplants.2020.07.009
 10. Juliano, B.O. A simplified assay for milled rice amylose / B.O. Juliano // *Cereal Science Today*. – 1971. – V. 15 (11). – P. 334-340.
 11. Liu, L.L. Identification and characterization of a novel Waxy allele from a Yunnan rice landrace / L.L. Liu, X.D. Ma, S.J. Liu, C.L. Zhu, J. Ling, Y.H. Wang, S. Yi, Y.L. Ren, H. Dong, L.M. Chen, et al. // *Plant Mol. Biol*. – 2009. – V. 71. – P. 609-626.
 12. Peng, Y. Influence of physicochemical properties and starch fine structure on the eating quality of hybrid rice with similar apparent amylose content / Y. Peng, B. Mao, Z. Changquan, E. Shao // *Food Chemistry*. – 2021. – V. 353 (5). doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129461
 13. Qiao, W. Nucleotide Diversity in Waxy Gene and Validation of Single Nucleotide Polymorphism in Relation to Amylose Content in Chinese Microcore Rice Germplasm / W. Qiao, Chen, You-Tao, Wang Rong-Sheng, Wei Xin, Cao Li-Rong, Zhang Wan-Xia, Yang Qing-Wen // *Crop Science*. – 2011. – V. 52 (4). – P. 1689-1697. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.05.0292>
 14. Sato, H. Molecular characterization of Wx^{mq}, a novel mutant gene for low-amylose content in endosperm of rice (*Oryza sativa* L.) / H. Sato, Y. Suzuki, M. Sakai, T. Imbe // *Breed. Sci*. – 2002. – V. 52 (2). – P. 131-135. doi: 10.1270/jsbbs.52.131
 15. She, K.C. A novel factor flouy endosperm2 is involved in regulation of rice grain size and starch quality / K.C. She, H. Kusano, K. Koizumi, H. Yamakawa, M. Hakata, et al. // *Plant Cell*. – 2010. – V. 22 (10). – P. 3280-3294. doi: 10.1105/tpc.109.070821
 16. Takeda, Y. Structures of sub-fractions of corn amylose / Y. Takeda, T. Shitaozono, S. Hizukuri // *Carbohydr. Res*. – 1990. – P. 207-214. doi: 10.1016/0008-6215(90)84262-S
 17. Tian, Z. Allelic diversities in rice starch biosynthesis lead to a diverse array of rice eating and cooking qualities / Z. Tian, et al. // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2009. – V. 106. – P. 21760-21765. doi: 10.1073/pnas.0912396106
 18. Zhang, J. Generation of new glutinous rice by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the Waxy gene in elite rice varieties / J. Zhang, H. Zhang, J.R. Botella, J.K. Zhu // *J. Integr Plant Biol*. – 2018. – V. 60 (5). – P. 369-375. doi: 10.1111/jipb.12620
 19. Zhang, C. Wxlv, the ancestral allele of rice waxy gene / C. Zhang, J. Zhu, S. Chen, X. Fan, Q. Li, Y. Lu, M. Wang, H. Yu, C. Yi, S. Tang, M. Gu, Q. Liu // *Mol. Plant*. – 2019. – V. 12. – P. 1157-1166.
 20. Zhju, L. Differential expressions among five Waxy alleles and their effects on the eating and cooking qualities in specialty rice cultivars / L. Zhju, W. Sheng, J. WU, C. Zhang, Q. Liu, Q. Deng // *J. of integrative agriculture*. – 2015. – V. 14 (6). – P. 1153-1162. doi: 10/1016/S2095-3119(14)60850-9
 21. Zhao, J. Variation in starch physicochemical properties of rice with different genic allele combinations in two environments / J. Zhao, Yu. Zhang, Y. Zhang // *J. of Cereal Science*. – 2022. – V. 108 (5). – P. 103575. doi: 10.1016/j.jcs.2022.103575
 22. Zhou, H. The origin of Wxla provides new insights into the improvement of grain quality in rice / H. Zhou, D. Xia, D. Zhao, Y. Li, P. Li, B. Wu, G. Gao, Q. Zhang, G. Wang, J. Xiao, X. Li, S. Yu, X. Lian, Y. He // *J. Integr Plant Biol*. – 2021. – V. 63 (5). – P. 878-888. doi: 10.1111/jipb.13011
 23. Zhang, Changquan Wxlv, the Ancestral Allele of Rice Waxy Gene / Zhang, Changquan, Jihui Zhu, Shengjie Chen // *Crop Science*. – 2020. – 36(1). – P. 140. doi:10.3390/proceedings2019036140
 24. Zhang, H. Genetic Control and High Temperature Effects on Starch Biosynthesis and Grain Quality in Rice / H. Zhang, Xu Heng, J. Yingying, H. Zhang, S. Wang, S. Wang, F. Wang, Y. Zhu // *Sec. Crop and Product Physiology*. – 2021. – V. 12. – P. 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.757997>
 25. Zhou, H. The origin of Wxla provides new insights into the improvement of grain quality in rice / Hao Zhou, Duo Xia, Da Zhao, Yanhua Li, Pingbo Li, Bian Wu, Guanjun Gao, Qinglu Zhang, Gongwei Wang, Jinghua Xiao, Xianghua Li, Sibin Yu, Xingming Lian, Yuqing He // *Molecular Ecology and Evolution*. – 2020. – V. 63 (5). – P. 878-888. <https://doi.org/10.1111/jipb.13011>

REFERENCES

1. Keshanidi, H.L. Technological assessment of rice-grain / H.L. Keshanidi, E.D. Kazakov - M.: Agropromizdat, 1985. – 79 p.
2. Kumeyko, T.B. Assessment of the initial rice material by the content of amylose in grain in the selection of low- and medium-amylose varieties / T.B. Kumeyko, N.G. Tumanyan // *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. – 2019. – № 80. – P. 162-166.
3. Kumeyko, T.B. Variability of rice varieties of the FNC selection of rice with a reduced amylose content in the form of grain and grain yield due to different doses of nitrogen fertilizers in the Abinsky district of Krasnodar Krai / T.B. Kumeyko, N.G. Tumanyan // *Collection "State and prospects of development of the agro-industrial complex of the proceedings of the XXIV Agro-industrial Forum of the South of Russia": the exhibition "Interagromash", "Agrotechnologies"*. – 2021. – P. 552-555.
4. Tumanyan, N.G. Change in grain quality in connection with the stagnation of rice plants at the root / N.G. Tumanyan // *Collection of reports of the International scientific and practical conference "Problems and prospects of scientific and innovative support for the agro-industrial complex of the regions"*. – 2021. – Kursk: FGBNU "Kursk Fan Center". – P. 18-20. doi:10.18411/isbn978-5-907407-45-9-164-2021
5. Tumanyan, N.G. Grain quality of rice varieties at the state variety sites of the Krasnodar Territory in 2020, 2021 / N.G. Tumanyan, S.V. Garkusha, T.B. Kumeyko, K.K. Olkhovaya // *Rice growing*. – 2023. – № 1 (58). – P. 14-22.

6. Allahgholipour, M. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties / M. Allahgholipour, A. J. Ali, F. Alinia, T. Nagamine, Y. Kojima // *Plant Breeding* – 2006. – V. 125. – P. 357-362. doi: 10.1111/j.1439-0523.2006.01252.x
7. Cagampang, G.B. A gel consistency test for eating quality of rice / G.B. Cagampang, C.M. Perez, B.O. Juliano // *J. of Food and Agriculture*. – 1973. – V. 24. – P. 1589-1594. doi:10.1002/jfsa.2740241214
8. Chen, M.H. Waxy gene haplotypes: Associations with apparent amylose content and the effect by the environment in an international rice germplasm collection / M. H. Chen, C. Bergman, S. Pinson, R. Fjellstrom // *J. of Cereal Science*. – 2008. – P. 536-545. doi: 10.1016/j.jcs.2007.06.013
9. Huang, L. Waxy editing: old meets new / L. Huang, N. Sreenivasulu, Q. Liu // *Trends Plant Sci*. – 2020. – V. 25. –P. 963–966. doi: 10.1016/j.tplants.2020.07.009
10. Juliano, B.O. A simplified assay for milled rice amylose / B.O. Juliano // *Cereal Science Today*. – 1971. – V. 15 (11). – P. 334-340.
11. Liu, L.L. Identification and characterization of a novel Waxy allele from a Yunnan rice landrace / L.L. Liu, X.D. Ma, S.J. Liu, C.L. Zhu, J. Ling, Y.H. Wang, S. Yi, Y.L. Ren, H. Dong, L.M. Chen, et al. // *Plant Mol. Biol*. – 2009. – V. 71. – P. 609–626.
12. Peng, Y. Influence of physicochemical properties and starch fine structure on the eating quality of hybrid rice with similar apparent amylose content / Y. Peng, B. Mao, Z. Changquan, E. Shao // *Food Chemistry*. – 2021. – V. 353 (5). doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129461
13. Qiao, W. Nucleotide Diversity in Waxy Gene and Validation of Single Nucleotide Polymorphism in Relation to Amylose Content in Chinese Microcore Rice Germplasm / W. Qiao, Chen, You-Tao, Wang Rong-Sheng, Wei Xin, Cao Li-Rong, Zhang Wan-Xia, Yang Qing-Wen // *Crop Science*. – 2011. – V. 52 (4). – P. 1689-1697. <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.05.0292>
14. Sato, H. Molecular characterization of Wx^{mq}, a novel mutant gene for low-amylose content in endosperm of rice (*Oryza sativa* L.) / H. Sato, Y. Suzuk, M. Sakai, T. Imbe // *Breed. Sci*. – 2002. – V. 52 (2). – P. 131–135. doi: 10.1270/jsbbs.52.131
15. She, K.C. A novel factor floury endosperm2 is involved in regulation of rice grain size and starch quality / K.C. She, H. Kusano, K. Koizumi, H. Yamakawa, M. Hakata, et al. // *Plant Cell*. – 2010. – V. 22 (10). – P. 3280-3294. doi: 10.1105/tpc.109.070821
16. Takeda, Y. Structures of sub-fractions of corn amylose / Y.Takeda, T. Shitaozono, S. Hizukuri // *Carbohydr. Res*. – 1990. – P. 207–214. doi: 10.1016/0008-6215(90)84262-S
17. Tian, Z. Allelic diversities in rice starch biosynthesis lead to a diverse array of rice eating and cooking qualities / Z. Tian, et al. // *Proc Natl Acad Sci USA*. – 2009. – V. 106. – P. 21760–21765. doi: 10.1073/pnas.0912396106
18. Zhang, J. Generation of new glutinous rice by CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the Waxy gene in elite rice varieties / J. Zhang, H. Zhang, J.R. Botella, J.K. Zhu // *J. Integr Plant Biol*. – 2018. – V. 60 (5). – P. 369-375. doi: 10.1111/jipb.12620
19. Zhang, C. Wxlv, the ancestral allele of rice waxy gene / C. Zhang, J. Zhu, S. Chen, X. Fan, Q. Li, Y. Lu, M. Wang, H. Yu, C. Yi, S. Tang, M. Gu, Q. Liu // *Mol. Plant*. – 2019. – V. 12. – P. 1157–1166.
20. Zhju, L. Differential expressions among five Waxy alleles and their effects on the eating and cooking qualities in specialty rice cultivars / L. Zhju, W. Sheng, J. WU, C. Zhang, Q. Liu, Q. Deng // *J. of integrative agriculture*. – 2015. – V. 14 (6). – P. 1153-1162. doi: 10/1016/S2095-3119(14)60850-9
21. Zhao, J. Variation in starch physicochemical properties of rice with different genic allele combinations in two environments / J. Zhao, Yu. Zhang, Y. Zhang // *J. of Cereal Science*. – 2022. – V. 108 (5). – P. 103575. doi: 10.1016/j.jcs.2022.103575
22. Zhou, H. The origin of Wxla provides new insights into the improvement of grain quality in rice / H. Zhou, D. Xia, D. Zhao, Y. Li, P. Li, B. Wu, G. Gao, Q. Zhang, G. Wang, J. Xiao, X. Li, S. Yu, X. Lian, Y. He // *J. Integr Plant Biol*. – 2021. – V. 63 (5). – P. 878-888. doi: 10.1111/jipb.13011
23. Zhang, Changquan Wx^{la}, the Ancestral Allele of Rice Waxy Gene /Zhang, Changquan, Jihui Zhu, Shengjie Chen // *Crop Science*. – 2020. – 36(1). – P.140. doi:10.3390/proceedings2019036140
24. Zhang, H. Genetic Control and High Temperature Effects on Starch Biosynthesis and Grain Quality in Rice / H. Zhang, Xu Heng, J. Yingying, H. Zhang, S. Wang, S. Wang, F. Wang, Y. Zhu // *Sec. Crop and Product Physiology*. – 2021. – V. 12. – P. 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.757997>
25. Zhouh, H. The origin of Wx^{la} provides new insights into the improvement of grain quality in rice / Hao Zhou, Duo Xia, Da Zhao, Yanhua Li, Pingbo Li, Bian Wu, Guanjun Gao, Qinglu Zhang, Gongwei Wang, Jinghua Xiao, Xianghua Li, Sibin Yu, Xingming Lian, Yuqing He // *Molecular Ecology and Evolution*. – 2020. – V. 63 (5). – P. 878-888. <https://doi.org/10.1111/jipb.13011>

Наталья Георгиевна Туманьян

Заведующий лабораторией качества риса
E-mail: tngerag@yandex.ru
ФГБНУ «ФНЦ риса»

Natalia Georgievna Tumanyan

Head of laboratory of rice quality
E-mail: tngerag@yandex.ru
FSBSI «FSC of rice»

Татьяна Борисовна Кумейко

Старший научный сотрудник лаборатории качества риса
E-mail: tatkumejko@yandex.ru

Tatyana Borisovna Kumeiko

Senior researcher of laboratory of rice quality
E-mail: tatkumejko@yandex.ru

Кнарик Карпетовна Ольховая

Младший научный сотрудник лаборатории качества риса

Knarik Karapetovna Olyhovaya

Junior researcher of laboratory of rice quality
3, Belozerniy, Krasnodar, 350921, Russia

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3

All: FSBSI «FSC of Rice»
3, Belozerniy, Krasnodar, 350921, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-46-52
УДК: 332.334:911.5:633.18

Чижикова С.С., канд. биол. наук,
Папулова Э.Ю., канд. биол. наук,
Туманьян Н.Г., д-р биол. наук
г. Краснодар, Россия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ КАЧЕСТВА СОРТООБРАЗЦОВ РИСА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ С ПОВЫШЕННОЙ КРУПНОСТЬЮ ЗЕРНА

Представлены результаты оценки крупнозерных сортов и сортообразцов риса, выращенных в контрольном питомнике и конкурсном сортоиспытании, по технологическим признакам качества зерна. Материалом исследований служило зерно сортов и сортообразцов риса с повышенной крупностью зерна, выведенных в ФНЦ риса (селекционеры Ковалев В.С., Зеленский Г.Л., Остапенко Н.В., Оглы А.М., Дубина Е.В.). Целью исследований было изучение технологических признаков качества крупнозерных сортообразцов селекции ФНЦ риса и выделение лучших сортообразцов. Технологические признаки качества изучаемых сортообразцов были различными: крупность зерновки 27,3-42,6 г, пленчатость 15,6-24,6 %, стекловидность 41-98 %, трещиноватость 4-62 %, общий выход крупы 61,2-74,6 %, содержание целого ядра в крупе риса 41,8-97,6 %. Лучшими по качеству были образцы ВНИИР 10304, ВНИИР 7042, ВНИИР 7070, КП 38-22, КП 148-19/1 (стекловидность 82-98 %, трещиноватость 2-9 %, содержание целого ядра в крупе риса 81,7-96,0 %). Сортообразцы КП-23-69, Анита-20 ПР были стабильны по признакам качества зерна риса, что позволяет использовать их в создании сортов с повышенной крупностью и низкой изменчивостью для условий Краснодарского края.

Ключевые слова: рис, сортообразцы, признаки качества, коэффициент вариации, крупнозерные сорта.

TECHNOLOGICAL SIGNS OF THE QUALITY OF RICE VARIETIES WITH INCREASED GRAIN SIZE OF DOMESTIC BREEDING

The results of the evaluation of coarse-grained rice varieties in the control nursery and competitive variety testing according to technological characteristics of grain quality are presented. The research material was the grain of coarse-grained rice varieties bred in the Rice Research Center (breeders Kovalev V.S., Zelensky G.L., Ostapenko N.V., Ogly A.M., Dubina E.V.). The purpose of the research was to study the technological signs of the quality of coarse-grained varieties of the rice breeding Center and highlight the best technological signs of grain quality. The studied cultivars were characterized by various technological quality characteristics: grain size 27.3-42.6 g, filminess 15.6-24.6 %, vitreousness 41-98 %, fracturing 4-62 %, total grain yield 61.2-74.6 %, whole kernel content in rice groats 41.8-97.6 %. The best quality samples were VNIIR 10304, VNIIR 7042, VNIIR 7070, KP 38-22, KP 148-19/1 (vitreous 82-98 %, fracturing 2-9 %, whole kernel content in rice groats 81.7 – 96.0 %). The cultivars KP-23-69, Anita-20 PR were stable in terms of the quality of rice grains, which allows them to be used in the creation of varieties with increased size and low variability for the conditions of the Krasnodar Territory.

Key words: rice, varietal types, quality characteristics, coefficient of variation, coarse-grained rice varieties.

Введение

Производство риса имеет большое значение во всем мире для продовольственной безопасности, социальной стабильности и экономического развития страны [9, 10, 14]. Эта сельскохозяйственная культура важна с точки зрения питания человека и калорийности рисопродуктов (на ее долю приходится от 40 до 80 % калорий), так как рис является основным продуктом питания более чем в 100 странах мира, его называют “мировым зерном” [8]. В последнее десятилетие растет спрос на сорта риса с высоким качеством зерна, которые должны соответствовать потребностям рынка и потребительскому спросу [5].

Создание новых сортов с высоким качеством зерна является главным условием рентабельно-

сти производства риса. Качество зерна риса - это сложный показатель, состоящий из многих компонентов, таких как технологические параметры, пищевая ценность, внешний вид [11]. В пищу рис употребляют в основном в виде крупы.

Селекция сортов в ФГБНУ «ФНЦ риса» ведется с учетом основных показателей: урожайности, качества зерна, устойчивости к заболеваниям, вредителям и полеганию. Количество и качество конечного продукта определяют технологические признаки качества, а востребованность сортов - потребительские достоинства. Оценка изменчивости урожайности и качественных характеристик - это основные факторы, на которые следует обращать внимание в процессе селекционного отбора [4, 12].

Рис покупается и продается по стандартам, основным, главным образом, на размерах зерна. Разделение сортов в пределах разновидностей по размерам зерновок и их форме удобно с точки зрения использования в торговле и промышленности [1, 7].

В последние годы потребители предпочитают крупнозерные сорта. Крупность зерна риса - один из важных сортовых признаков, оказывающих влияние на урожайность. Этот признак носит наследственный характер, а также зависит от условий выращивания [6, 13]. Крупность зерна характеризуется массой 1000 а. с. зерен, которую определяют длина, ширина и толщина зерна. С увеличением перечисленных показателей повышается и крупность зерна [3, 15]. Крупность зерна у риса может находиться в пределах от 16 до 70 г. Очень крупное зерно чаще всего бывает на метелках с небольшим количеством зерен, а значит, в целом, продуктивность таких растений невелика, поэтому оптимальная масса 1000 зерен должна быть 30–40 г при 14 % влажности [2].

В настоящее время известны сорта итальянской селекции Volano, Arborio, Orione, Carnise с крупностью зерновки 32–37 г, с которыми знаком российский потребитель. В российском селекционном процессе в последние десятилетия наблюдается тенденция выведения крупнозерных сортов. В ФНЦ риса созданы и переданы в госсортоиспытание сорта с повышенной массой зерновки: Престиж (2019 г.), Форсаж (2021 г.), Классик, Вектор, Стромбус, Регул 2 (2022 г.), Валентина (2023 г.), Легенда (2024 г.), Титан (2011 г.). Спрос на крупнозерные сорта остается, в связи с чем в ФНЦ риса продолжается селекция сортов с повышенной крупностью с ценными агrobiологическими показателями и признаками качества зерна.

Цель исследований

Изучить технологические признаки качества сортообразцов риса с повышенной крупностью зерна селекции ФНЦ риса, выделить лучшие сортообразцы.

Материалы и методы

Материалом исследований служило зерно крупнозерных сортов (Анаит, Титан, Крепыш, Престиж, Форсаж, Классик, Вектор, Стромбус, Регул 2, Валентина) и сортообразцов риса, выведенных в ФНЦ

риса (селекционеры Ковалев В.С., Зеленский Г.Л., Остапенко Н.В., Оглы А.М., Дубина Е.В.): ВНИИР 7042, ВНИИР 7070, Анита 20 ПР, КСИ-43, ВНИИР 10300 (КП-21-131 в 2021 году и КСИ-22-62; КП-21-131 в 2022 году), ВНИИР 10304 (КП-21-218 в 2021 году и КСИ-22-89; КП-21-218 в 2022 году), КСИ-23-69; КП-22-144 (КП-22-144 в 2022 году), КСИ-23-81; КП-22-181 (КП-22-181 в 2022 году), КСИ-23-101; КП-22-278 (КП-22-278 в 2022 году), КП-23-274 (КП-22-169 в 2022 году), КП-23-291 (КП-22-237 в 2022 году), КП 113-21, КП 148-19/1, КП 38-22, КП 148-19/1, КСИ-8, КСИ-9, КСИ-9-1, КСИ-10-2, КСИ-28-7, КСИ-150, КСИ-157, КСИ-168, КСИ-170, КСИ-171, КСИ-176, Легенда (КП 75-2/1). Сорт Фаворит был взят в качестве стандарта. Сорта выращены на рисовой оросительной системе «ФНЦ риса», г. Краснодар (селекционеры Зеленский Г.Л. и Остапенко Н.В.) и в ФГБУ ЭСОС «Красная», пос. Рисоопытный, Красноармейский район, Краснодарский край (селекционеры Ковалев В.С., Оглы А.М., Дубина Е.В.) в 2021–2023 гг. (ВНИИР 10300, ВНИИР 10304, Анита-20 ПР, ВНИИР 7042, ВНИИР 7070, КП-113-21, КП 148-19/1) и в 2022–2023 гг. (КП-23-69, КСИ-23-81, КСИ-23-101, КП-23-274, КСИ-43, КП 38-22, КСИ-8, КСИ-9, КСИ-9-1, КСИ-10-2, КСИ-28-7, КСИ-150, КСИ-157, КСИ-168, КСИ-170, КСИ-171, КСИ-176, Легенда (КП 75-2/1)). Массу 1000 а. с. зерен (крупность зерна) определяли по ГОСТу 10842-89 «Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур», пленчатость - по ГОСТУ 10843-76 (на шелушительно-шлифовальной установке), стекловидность - по ГОСТу 10987-76, трещиноватость с помощью диафаноскопа ДС3-3 и ДС3-2М, выход и качество крупы по ГОСТу 50438-92. Форму зерновки (l/b – отношение длины к ширине) и ее линейные размеры, определяли на сканере (система анализа изображений LA 2400, WinFOLIA с использованием компьютерной программы WinSEEDLE (Канада). Статистическую обработку данных проводили в программе Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

В связи с востребованностью в ФНЦ риса ведется селекция крупнозерных сортов. Были изучены признаки качества зерна крупнозерных сортов риса, переданных на госсортоиспытание в 2008–2023 гг. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технологические признаки качества сортов риса с повышенной крупностью зерна, переданных на госсортоиспытание в 2008–2023 гг.

| Сорт | Год передачи на госсортоиспытание | Показатели признаков качества | | | | | | |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----|----------------------|--|
| | | Масса 1000 а.с. зерен, г | Пленчатость, % | Стекловидность, % | Трещиноватость, % | l/b | Общий выход крупы, % | Содержание целого ядра в крупе риса, % |
| Анаит | 2008 | 37,6 | 17,4 | 76 | 39 | 2,3 | 67,1 | 53,6 |
| Титан | 2011 | 33,2 | 17,4 | 84 | 48 | 2,4 | 68,9 | 64,9 |
| Крепыш | 2015 | 31,6 | 16,9 | 84 | 36 | 2,4 | 71,7 | 71,9 |
| Престиж | 2019 | 29,6 | 18,2 | 69 | 42 | 2,3 | 71,8 | 70,3 |
| Форсаж | 2021 | 32,0 | 16,3 | 72 | 9 | 2,3 | 67,8 | 83,6 |

Продолжение таблицы 1

| Сорт | Год передачи на госсортоиспытание | Показатели признаков качества | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-----|----------------------|--|
| | | Масса 1000 а.с. зерен, г | Пленчатость, % | Стекловидность, % | Трещиноватость, % | l/b | Общий выход крупы, % | Содержание целого ядра в крупе риса, % |
| Классик | 2022 | 28,0 | 18,8 | 77 | 11 | 1,9 | 70,1 | 96,1 |
| Вектор | | 30,0 | 17,7 | 83 | 10 | 2,3 | 69,8 | 89,4 |
| Стромбус | | 34,3 | 17,5 | 81 | 15 | 2,5 | 66,1 | 78,9 |
| Регул 2 | | 29,5 | 18,2 | 86 | 18 | 2,4 | 69,8 | 79,2 |
| Валентина | 2023 | 30,4 | 17,5 | 74 | 25 | 2,5 | 66,5 | 93,7 |

Масса 1000 а. с. зерен находилась в пределах от 28,0 г (Классик) до 37,6 г (Анаит). Наибольшая пленчатость отмечена у сорта Классик (18,8 %), наименьшая – у сорта Форсаж (16,3 %). Стекловидность находилась в пределах от 69 % (Престиж) до 86 % (Регул 2). Наименьший общий выход крупы отмечен у сорта Стромбус (66,1 %), наибольший - у сорта Престиж (71,8 %). Трещиноватость у изучаемых сортов была 9-48 %. У сортов Форсаж, Вектор и Классик при низкой трещиноватости (9, 10 и 11 % соответственно) наблюдали высокое содержание целого ядра: 96,1, 83,6 и 89,4 % соответственно. У сорта Валентина высокое содержание целого ядра в крупе риса (93,7 %) при средних значениях трещиноватости (25 %). Сорта относятся к группе

среднезерных, а сорт Классик – короткозерный.

Изучали технологические признаки качества крупнозерных сортообразцов селекции ФНЦ риса, находящихся в контрольном питомнике и конкурсном сортоиспытании. Изучаемые сортообразцы среднезерные, за исключением короткозерного сортообразца КСИ-23-81 и длиннозерного КП 38-22.

Масса 1000 а. с. зерен находилась в пределах от 27,3 г до 42,6 г. Значения признака за три года исследований были наибольшими в 2021 году у сортообразцов Анита-20 ПР (37,2 г), ВНИИР 7042 (30,5 г), ВНИИР 7070 (32,3 г), КП-113-21 (32,7 г), КП 148-19/1 (32,2 г); в 2022 году у сортообразцов ВНИИР 10300 (30,0 г); в 2023 году у сортообразца ВНИИР 10304 (табл. 2).

Таблица 2. Масса 1000 а. с. зерен, пленчатость и отношение длины зерновки к ширине сортообразцов риса с повышенной крупностью зерна селекции ФНЦ риса, урожай 2021-2023 гг.

| Сортообразец | Масса 1000 а.с. зерен, г | | | CV, % | Пленчатость, % | | | CV, % | Отношение длины зерновки к ширине (l/b) | | |
|---------------------|--------------------------|------|------|-------|----------------|------|------|-------|---|------|------|
| | 2021 | 2022 | 2023 | | 2021 | 2022 | 2023 | | 2021 | 2022 | 2023 |
| Фаворит, st | 31,2 | 27,3 | 30,5 | 7,01 | 18,4 | 20,0 | 18,8 | 4,37 | 2,3 | 2,2 | 2,6 |
| ВНИИР 10300 | 29,6 | 30,0 | 29,5 | 0,89 | 15,6 | 15,8 | 16,6 | 3,31 | - | 2,2 | 2,0 |
| ВНИИР 10304 | 33,5 | 32,8 | 33,8 | 1,54 | 17,8 | 17,4 | 20,0 | 7,61 | - | 2,2 | 2,2 |
| КП-23-69 | - | 31,9 | 31,3 | 1,34 | - | 18,6 | 17,8 | 3,11 | - | 2,3 | 2,1 |
| КСИ-23-81 | - | 32,9 | 34,2 | 2,74 | - | 18,0 | 17,8 | 0,79 | - | 1,9 | 1,8 |
| КСИ-23-101 | - | 29,8 | 29,1 | 1,68 | - | 17,6 | 16,8 | 4,09 | - | 2,2 | 2,0 |
| КП-23-274 | - | 30,7 | 31,3 | 1,37 | - | 18,8 | 18,6 | 0,76 | - | 2,1 | 2,4 |
| КСИ-43 | - | 29,1 | 29,0 | 0,24 | - | 18,2 | 17,8 | 1,57 | - | 2,1 | 2,6 |
| Анита-20 ПР | 37,2 | 36,0 | 34,5 | 3,77 | 18,8 | 18,2 | 19,4 | 3,19 | - | 2,3 | 2,3 |
| ВНИИР 7042 | 30,5 | 28,5 | 29,8 | 3,43 | 20,0 | 18,4 | 16,8 | 8,70 | 2,6 | 2,7 | 2,6 |
| ВНИИР 7070 | 32,3 | 29,8 | 30,1 | 4,44 | 18,0 | 18,2 | 16,6 | 4,95 | 2,5 | 2,7 | 2,6 |
| КП-113-21 | 32,7 | 30,3 | 29,7 | 5,14 | 19,4 | 18,6 | 17,6 | 4,87 | - | - | 2,2 |
| КП 38-22 | - | 33,3 | 33,9 | 1,26 | - | 18,2 | 18,2 | 0,00 | - | - | 3,1 |
| КП 148-19/1 | 32,2 | 31,2 | 31,6 | 1,59 | 17,2 | 16,4 | 17,8 | 4,10 | - | - | 2,4 |
| КСИ-8 | - | 35,0 | 38,7 | 7,10 | - | 17,0 | 18,8 | 7,11 | - | 2,5 | 2,4 |
| КСИ-9 | - | 28,0 | 30,5 | 6,04 | - | 17,9 | 20,0 | 7,84 | - | 2,4 | 2,5 |
| КСИ-9-1 | - | 34,3 | 38,7 | 8,52 | - | 16,8 | 18,0 | 4,88 | - | 2,7 | 2,6 |
| КСИ-10-2 | - | 28,9 | 28,9 | 0,00 | - | 17,4 | 21,2 | 13,92 | - | 2,4 | 2,4 |
| КСИ-28-7 | - | 33,8 | 36,6 | 5,62 | - | 17,6 | 18,2 | 2,37 | - | 2,5 | 2,5 |
| КСИ-150 | - | 28,4 | 28,8 | 0,99 | - | 17,8 | 20,4 | 9,63 | - | 2,2 | 2,5 |
| КСИ-157 | - | 37,8 | 36,4 | 2,67 | - | 16,8 | 24,6 | 26,64 | - | 2,3 | 2,5 |
| КСИ-168 | - | 36,0 | 38,0 | 3,82 | - | 17,2 | 18,4 | 4,77 | - | 2,5 | 2,5 |
| КСИ-170 | - | 37,7 | 42,6 | 8,63 | - | 16,8 | 21,6 | 17,68 | - | 2,5 | 2,5 |
| КСИ-171 | - | 35,3 | 39,3 | 7,58 | - | 16,8 | 19,6 | 10,88 | - | 2,3 | 2,4 |
| КСИ-176 | - | 31,1 | 35,5 | 9,34 | - | 17,6 | 18,4 | 3,14 | - | 2,5 | 2,4 |
| Легенда (КП 75-2/1) | - | 34,1 | 34,1 | 0,00 | - | 17,4 | 17,4 | 0,00 | - | 2,5 | 2,4 |
| НСР ₀₅ | 0,40 | 0,49 | 0,28 | - | 0,19 | 0,20 | 0,21 | - | - | - | - |

У оставшихся образцов за два года исследований наибольшая крупность зерна была в 2022 году у сортообразцов КП-23-69 (31,9 г), КСИ-23-101 (29,8 г), КСИ-157 (37,8 г); в 2023 году у сортообразцов КСИ-23-81 (34,2 г), КП-23-274 (31,3 г), КП 38-22 (33,9 г), КСИ-8 (38,7 г), КСИ-9 (30,5 г), КСИ-9-1 (38,7 г), КСИ-28-7 (36,6 г), КСИ-150 (28,8 г), КСИ-168 (38,0 г). Масса 1000 а. с. зерен у большинства перечисленных сортообразцов была выше, чем у сорта стандарта Фаворит на 1,0-6,0 г в 2021 году, 1,6-4,6 г в 2022 году и 0,0-8,7 г в 2023 году. Существенно не различались по крупности зерна сортообразцы КСИ-43, КСИ-10-2 и Легенда (КП 75-2/1) в 2022 и 2023 гг.

Пленчатость у изучаемых сортообразцов на-

ходила в пределах от 15,6 % (ВНИИР 10300 в 2021 г.) до 24,6 % (КСИ-157 в 2023 г.). За три года исследований наибольшая пленчатость отмечена в 2021 году у сортообразцов ВНИИР 7042 (20,0 %) и КП-113-21 (19,4 %); в 2021 году у сортообразцов ВНИИР 7070 (18,2 %) и КП 38-22 (18,2 %); в 2023 году у сортообразцов ВНИИР 10300 (16,6 %), ВНИИР 10304 (20,0 %), Анита-20 ПР (19,4 %), КП 148-19/1 (17,8 %). За два года исследований наибольшие значения признака отмечены в 2023 году. Существенно не различались по пленчатости сортообразцы КП 38-22 и Легенда в 2022 и 2023 гг.

Стекловидность изучаемых сортообразцов находилась в пределах 41-98 % (табл. 3).

Таблица 3. Стекловидность, трещиноватость сортообразцов риса с повышенной крупностью зерна селекции ФНЦ риса, урожай 2021-2023 гг.

| Сортообразец | Стекловидность, % | | | CV, % | Трещиноватость, % | | | CV, % |
|---------------------|-------------------|------|------|-------|-------------------|------|------|--------|
| | 2021 | 2022 | 2023 | | 2021 | 2022 | 2023 | |
| Фаворит, st | 87 | 78 | 83 | 3,55 | 15 | 12 | 42 | 71,48 |
| ВНИИР 10300 | 80 | 68 | 70 | 8,85 | 24 | 23 | 46 | 41,94 |
| ВНИИР 10304 | 98 | 83 | 88 | 8,52 | 9 | 17 | 19 | 35,28 |
| КП-23-69 | - | 66 | 64 | 2,18 | - | 18 | 13 | 22,81 |
| КСИ-23-81 | - | 56 | 60 | 4,88 | - | 42 | 52 | 15,04 |
| КСИ-23-101 | - | 92 | 82 | 8,13 | - | 25 | 4 | 102,41 |
| КП-23-274 | - | 74 | 78 | 3,72 | - | 19 | 62 | 75,08 |
| КСИ-43 | - | 86 | 97 | 8,50 | - | 29 | 15 | 45,00 |
| Анита-20 ПР | - | 85 | 87 | 1,64 | - | 19 | 21 | 7,07 |
| ВНИИР 7042 | 86 | 85 | 74 | 8,15 | 7 | 5 | 8 | 22,91 |
| ВНИИР 7070 | 87 | 77 | 61 | 17,49 | 7 | 3 | 7 | 40,75 |
| КП-113-21 | 81 | 81 | 60 | 16,38 | 16 | 7 | 20 | 46,45 |
| КП 38-22 | - | 82 | 56 | 26,64 | - | 2 | 24 | 119,66 |
| КП 148-19/1 | 82 | 72 | 59 | 16,24 | 4 | 8 | 25 | 90,41 |
| КСИ-8 | - | 68 | 70 | 2,05 | - | 11 | 36 | 75,22 |
| КСИ-9 | - | 72 | 74 | 1,94 | - | 28 | 29 | 2,48 |
| КСИ-9-1 | - | 78 | 63 | 15,04 | - | 6 | 43 | 106,79 |
| КСИ-10-2 | - | 71 | 66 | 5,16 | - | 4 | 56 | 122,57 |
| КСИ-28-7 | - | 79 | 66 | 12,68 | - | 5 | 20 | 84,85 |
| КСИ-150 | - | 70 | 70 | 0,00 | - | 31 | 54 | 38,27 |
| КСИ-157 | - | 47 | 63 | 20,57 | - | 9 | 16 | 39,60 |
| КСИ-168 | - | 74 | 67 | 7,02 | - | 10 | 40 | 84,85 |
| КСИ-170 | - | 41 | 50 | 13,99 | - | 5 | 31 | 102,14 |
| КСИ-171 | - | 65 | 58 | 8,05 | - | 7 | 6 | 10,88 |
| КСИ-176 | - | 52 | 73 | 23,76 | - | 15 | 39 | 62,85 |
| Легенда (КП 75-2/1) | - | 74 | 56 | 19,58 | - | 16 | 19 | 12,12 |
| НСР ₀₅ | 1,0 | 1,8 | 1,4 | - | 2,0 | 0,9 | 1,9 | - |

В 2021 году наибольшие за три года исследования значения признака стекловидности отмечены у сортообразцов ВНИИР 10300 (80 %), ВНИИР 10304 (98 %), ВНИИР 7042 (86 %), ВНИИР 7070 (87 %), КП 148-19/1 (82 %). За два года исследований наибольшая стекловидность в 2022 году была у сортообразцов КП-23-69 (66 %), КСИ-23-101 (92 %), КП 38-22 (82 %), КСИ-9-1 (78 %), КСИ-10-2 (71 %),

КСИ-28-7 (79 %), КСИ-168 (74 %), КСИ-171 (65 %), Легенда (КП 75-2/1) (74 %); в 2023 году – у сортообразцов КСИ-23-81 (60 %), КП-23-274 (78 %), КСИ-43 (97 %), Анита-20 ПР (87 %), КСИ-8 (70 %), КСИ-9 (74 %), КСИ-157 (63 %), КСИ-170 (50 %), КСИ-176 (73 %). Значения признака существенно не различались по годам у сортообразцов КП-113-21 (81 %) в 2021, 2022 гг., КСИ-150 (70 %) в 2022,

2023 гг. Среди изучаемых сортообразцов в группу с высокой стекловидностью зерна (94-100 %) можно отнести ВНИИР 10304 в 2021 году и КСИ-43 в 2023 году.

Трещиноватость сортообразцов находилась в пределах от 4 до 62 %. К группе с низкой (0-10 %) трещиноватостью отнесли сортообразцы ВНИИР 10304 (9 %) и КП 148-19/1 (4 %) в 2021 году; ВНИИР 7042 (5 %), ВНИИР 7070 (3 %), КП-113-21 (7 %), КП

38-22 (2 %), КСИ-9-1 (6 %), КСИ-10-2 (4 %), КСИ-28-7 (5 %), КСИ-157 (9 %), КСИ-168 (10 %), КСИ-170 (5 %) в 2022 году; КСИ-23-101 (4 %) в 2023 году. К группе с высокой (30,1-100 %) трещиноватостью - сортообразцы КСИ-23-81 и КСИ-150 в 2022, 2023 гг.; ВНИИР 10300, КСИ-23-81, КП-23-274, КСИ-8, КСИ-9-1, КСИ-10-2, КСИ-150 в 2023 году.

Общий выход крупы у изучаемых сортообразцов находился в пределах от 61,2 до 74,6 % (табл. 4).

Таблица 4. Выход крупы сортообразцов риса с повышенной крупностью зерна селекции ФНЦ риса, урожай 2021-2023 гг.

| Сортообразец | Общий выход крупы, % | | | CV, % | Содержание целого ядра в крупе риса, % | | | CV, % |
|---------------------|----------------------|------|------|-------|--|------|------|-------|
| | 2021 | 2022 | 2023 | | 2021 | 2022 | 2023 | |
| Фаворит, st | 65,2 | 65,8 | 65,4 | 0,47 | 80,1 | 86,6 | 76,5 | 6,31 |
| ВНИИР 10300 | 74,6 | 72,2 | 67,6 | 4,98 | 84,2 | 86,7 | 77,8 | 5,54 |
| ВНИИР 10304 | 69,8 | 67,2 | 62,4 | 5,65 | 81,7 | 90,2 | 67,0 | 14,74 |
| КП-23-69 | - | 67,2 | 64,2 | 3,23 | - | 87,8 | 92,2 | 3,46 |
| КСИ-23-81 | - | 68,4 | 64,4 | 4,26 | - | 44,4 | 57,8 | 18,54 |
| КСИ-23-101 | - | 70,4 | 65,4 | 5,21 | - | 89,5 | 97,6 | 6,12 |
| КП-23-274 | - | 67,0 | 64,4 | 2,80 | - | 76,1 | 44,1 | 37,65 |
| КСИ-43 | - | 70,0 | 67,8 | 2,26 | - | 77,4 | 87,9 | 8,98 |
| Анита-20 ПР | - | 62,8 | 61,2 | 1,82 | - | 76,4 | 86,9 | 9,09 |
| ВНИИР 7042 | 66,4 | 67,0 | 67,4 | 0,75 | 92,2 | 93,7 | 92,6 | 0,84 |
| ВНИИР 7070 | 67,4 | 66,0 | 67,0 | 1,08 | 91,3 | 95,0 | 89,6 | 3,00 |
| КП-113-21 | 65,6 | 68,4 | 65,8 | 2,35 | 85,7 | 89,5 | 81,8 | 4,49 |
| КП 38-22 | - | 64,6 | 63,0 | 1,77 | - | 96,0 | 86,0 | 7,77 |
| КП 148-19/1 | 64,8 | 69,4 | 64,4 | 4,20 | 92,6 | 87,3 | 83,2 | 5,37 |
| КСИ-8 | - | 63,8 | 64,4 | 0,66 | - | 80,6 | 42,9 | 43,17 |
| КСИ-9 | - | 64,8 | 65,8 | 1,08 | - | 85,2 | 68,1 | 15,77 |
| КСИ-9-1 | - | 63,6 | 65,6 | 2,19 | - | 82,4 | 42,1 | 45,78 |
| КСИ-10-2 | - | 65,8 | 65,6 | 0,22 | - | 85,7 | 49,7 | 37,60 |
| КСИ-28-7 | - | 62,8 | 62,4 | 0,45 | - | 94,6 | 68,6 | 22,53 |
| КСИ-150 | - | 64,4 | 66,0 | 1,74 | - | 84,8 | 41,8 | 48,03 |
| КСИ-157 | - | 61,8 | 58,6 | 3,76 | - | 56,0 | 58,0 | 2,48 |
| КСИ-168 | - | 62,0 | 65,0 | 3,34 | - | 85,2 | 57,2 | 27,81 |
| КСИ-170 | - | 60,6 | 59,6 | 1,18 | - | 52,1 | 33,2 | 31,33 |
| КСИ-171 | - | 61,8 | 60,8 | 1,15 | - | 87,1 | 77,0 | 8,70 |
| КСИ-176 | - | 66,6 | 67,0 | 0,42 | - | 87,4 | 67,8 | 17,86 |
| Легенда (КП 75-2/1) | - | 62,6 | 68,0 | 5,85 | - | 92,0 | 55,9 | 34,52 |
| НСР ₀₅ | 0,38 | 0,20 | 0,19 | - | 0,90 | 1,10 | 0,30 | - |

За три года исследований наибольшее значение признака отмечено у сортообразцов ВНИИР 10300 (74,6 %), ВНИИР 10304 (69,8 %), ВНИИР 7070 (67,4 %) в 2021 году; КП-113-21 (68,4 %), КП 148-19/1 (69,4 %) в 2022 году; ВНИИР 7042 (67,4 %) в 2023 году. За два года исследований наибольший выход крупы был у сортообразцов КП-23-69 (67,2%), КСИ-23-81 (68,4 %), КСИ-23-101 (70,4 %), КП-23-274 (67,0 %), КСИ-43 (70 %), Анита-20 ПР (62,8 %), КП 38-22 (64,6 %), КСИ-10-2 (65,8 %), КСИ-28-7 (62,8 %) в 2022 году, КСИ-8 (64,4 %), КСИ-9 (65,8 %), КСИ-9-1 (65,6 %) в 2023 году.

Содержание целого ядра в крупе риса у изучаемых сортообразцов было наибольшим в 2021 году

у КП 148-19/1 (92,6 %); в 2022 году - ВНИИР 10300 (86,7 %), ВНИИР 10304 (90,2 %), ВНИИР 7042 (93,7 %), ВНИИР 7070 (95,0 %), КП-113-21 (89,5 %) за три года исследований. Значения признака за два года исследований были наибольшими в 2022 году у сортообразцов КП-23-274 (76,1 %), КП 38-22 (96,0 %), КСИ-8 (80,6 %), КСИ-9 (85,2 %), КСИ-9-1 (82,4%), КСИ-10-2 (85,7%), КСИ-28-7 (94,6%), КСИ-150 (84,8 %); в 2023 году - КСИ-43 (87,9 %), Анита-20 ПР (86,9 %), КСИ-157 (58,0 %), КП-23-69 (92,2 %), КСИ-23-81 (57,8 %), КСИ-23-101 (97,6 %). У сортообразцов ВНИИР 7042, ВНИИР 7070, КП-113-21 (2022 г.), КП 38-22 (2022 г.), КП 148-19/1 (2021, 2022 гг.), КСИ-28-7 (2022 г.), КСИ-23-101 (2023 г.)

при низкой трещиноватости (0-10 %) отмечено высокое (90,0-100,0 %) содержание целого ядра; у сортообразцов ВНИИР 10304 (2022 г.), КП-23-69 (2023 г.), Легенда (2022 г.) при средней (10,1-30,0 %) трещиноватости высокое содержание целого ядра (90,0 – 100,0 %).

Для оценки изменчивости сортообразцов риса по признакам качества зерна рассчитывали вариабельность признаков качества. Коэффициент вариации находился по признаку «масса 1000 а. с. зерен» в пределах от 0,00 (КСИ-10-2, Легенда) до 9,34 % (КСИ-176), «пленчатость» от 0,00 (КП 38-22, Легенда) до 26,64 % (КСИ-157), по признаку «стекловидность» от 0,00 (КСИ-150) до 26,64 % (КП 38-22), по признаку «трещиноватость» от 2,48 (КСИ-9) до 122,57 % (КСИ-10-2), по признаку «общий выход крупы» от 0,22 (КСИ-10-2) до 5,85 % (Легенда), «содержание целого ядра в крупе риса» от 0,84 (ВНИИР 7042) до 48,03 % (КСИ-150). Лучшими сортообразцами на основании низкой изменчивости были по признаку «масса 1000 а. с. зерен» ВНИИР 10300, ВНИИР 10304, КП-23-69, КСИ-23-81, КСИ-23-101, КП-23-274, КСИ-43, КП 38-22, КП 148-19/1, КСИ-10-2, КСИ-150, КСИ-157, Легенда; «пленчатость» - ВНИИР 10300, КП-23-69, КСИ-23-81, КП-23-274, КСИ-43, Анита-20 ПР, КП 38-22, КП 148-19/1, КСИ-28-7, Легенда; «стекловидность» - КП-23-69, КП-23-274, Анита-20 ПР, КСИ-8, КСИ-9, КСИ-150; «трещиноватость» - КП-23-69, КСИ-23-81, Анита-20 ПР, ВНИИР 7042, КСИ-9, КСИ-171, Легенда; «общий выход крупы» - КП-23-274, КСИ-43, Анита-20 ПР, ВНИИР 7042, ВНИИР 7070, КП-113-21, КП 38-22, КСИ-8, КСИ-9,

КСИ-9-1, КСИ-10-2, КСИ-28-7, КСИ-150, КСИ-170, КСИ-171, КСИ-176; «содержание целого ядра в крупе риса» - ВНИИР 10300, КП-23-69, КП 148-19/1, ВНИИР 7042, ВНИИР 7070, КП-113-21, КСИ-157. Стабильными по всем признакам были сортообразцы КП-23-69 и Анита-20 ПР, у которых коэффициент вариации по признаку «масса 1000 а. с. зерен» составлял 1,34 и 3,77, «пленчатость» - 3,11 и 3,19, «стекловидность» - 2,18 и 1,64, «трещиноватость» - 22,81 и 7,07, «общий выход крупы» - 3,23 и 1,82, «содержание целого ядра в крупе риса» - 3,46 и 9,09 соответственно.

Выводы

Образцы риса с повышенной крупностью зерна, выращенные в контрольном питомнике и конкурсном сортоиспытании, характеризовались различными технологическими признаками качества: крупностью 27,3-42,6 г, пленчатостью 15,6-24,6 %, стекловидностью 41-98 %, трещиноватостью 4-62 %, общим выходом крупы 61,2-74,6 %, содержанием целого ядра в крупе риса 41,8-97,6 %.

Исходя из полученных результатов исследования двадцати шести сортообразцов риса селекции ФНЦ риса были выделены лучшие по качеству образцы: ВНИИР 10304, ВНИИР 7042, ВНИИР 7070, КП 38-22, КП 148-19/1 (стекловидность 82-98 %, трещиноватость 2-9 %, содержание целого ядра в крупе риса 81,7-96,0 %). Сортообразцы КП-23-69, Анита-20 ПР проявили стабильность по всем признакам качества зерна риса и могут быть использованы в селекционном процессе создания крупнозерных сортов с низкой изменчивостью для условий Краснодарского края.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гушин, Г.Г. Рис / Г.Г. Гушин. – Москва: Сельхозизд, 1938. – 832 с.
2. Жученко, Н.Н. Анализ количественных признаков крупнозерных сортообразцов риса / Н.Н. Жученко, Л.М. Костылева, П.И. Костылев // Сельское хозяйство. – 2014. - № 4 (28). – С. 35-43.
3. Папулова, Э.Ю. Изучение максимальной вязкости крахмальной дисперсии в зависимости от формы и крупности зерновки риса / Э.Ю. Папулова, К.К. Ольховая, Н.Г. Туманьян // В сборнике: Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. с. Солонное Займище. – 2020. - С. 293-295.
4. Чижикова, С.С. Качество сортообразцов риса урожая 2017, 2018 гг. Селекции ВНИИ риса конкурсного сортоиспытания / С.С. Чижикова, Г.Л. Зеленский, Н.Г. Туманьян // В книге: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник тезисов по материалам Всероссийской (национальной) конференции. Ответственный за выпуск А. Г. Кощаев. - 2019. - С. 39-40.
5. Bhat, F.M. Physicochemical, cooking, and textural characteristics of grains of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars of temperate region of India and their interrelationships / F.M. Bhat, C.S. Riar // Journal of Texture Studies. – 2017. - V. 48 (2). - P. 160-170.
6. Chandraratna, M.F. A biometrical analysis of matroclinous inheritance of grain weight in rice / M.F. Chandraratna // Heredity. – 1960. – V. 14. – № 3. – P. 365-373.
7. Kumar, S.S. Variability, correlation and path studies in coloured rice Kumar / S.S. Kumar, Y. Suneetha, G.V. Kumar, V.S. Rao, D.S. Raja, Srinivas // International Journal of Chemical Studies. – 2020. – 8 (4). – P. 2138-2144.
8. Meng, B. Identification and allele combination analysis of rice grain shape-related genes by genome-wide association study / B. Meng, T. Wang, Y. Luo, Y. Guo, D. Xu, Ch. Liu, J. Zou, L. Li, Y. Diao, Zh. Gao, Zh. Hu, X. Zheng // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – 23. – 1065.
9. Oko, A.O. Rice cooking quality and physico-chemical characteristics: a comparative analysis of selected local and newly introduced rice varieties in ebonyi state, Nigeria / B. E. Ubi, N. Dambaba // Food and Public Health. – 2012. - V. 2 (1). – P. 43-49.
10. Pokhrel, A. Evaluation of Physicochemical and Cooking Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.) Landraces of Lamjung and Tanahun Districts, Nepal / A. Pokhrel, A. Dhakal, Sh. Sharma, A. Poudel // International journal of food science. – 2020. - Article id 1589150.

11. Sadhana, P. Studies on variability, correlation and path coefficient analysis for yield and quality traits in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes / Ch. Damodar Raju, L.V. Subba Rao and Aparna Kuna // *Electronic Journal of Plant Breeding*. – 2022. – V. 13 (2). – P. 670 – 678.
12. Sakamoto, T. Identifying and exploiting grain yield genes in rice / T. Sakamoto, M. Matsuoka // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2008. – V. 11(2). – P. 209-2142.
13. Singh, N. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars / N. Singh, L. Kaur, N. S. Sodhi, K. S. Sekhon // *Food Chemistry*. – 2005. – V. 89 (2). – P. 253–259.
14. Tan, Y.F. Genetic bases of appearance quality of rice grains in Shanyou 63, an elite rice hybrid / Y.F. Tan, Y.Z. Xing, J.X. Li, S.B. Yu, C.G. Xu, Q. Zhang // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2000. – V. 101. – P. 823–829.
15. Zhang, Q. Fine Mapping of qTGW3-1, a QTL for 1000-Grain Weight on Chromosome 3 in Rice / Q. ZHANG, G. Yao, G. Hu, Ch. Chen, B. Tang, Zhang H., Z. Li // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2012. – V. 11 (6). – P. 879-887.

REFERENCES

1. Gushchin, G.G. Rice / G.G. Gushchin. – Moscow: Selkhoziz, 1938. – 832 p.
2. Zhuchenko, N.N. Analysis of quantitative characteristics of coarse-grained rice varieties / N.N. Zhuchenko, L.M. Kostyleva, P.I. Kostylev // *Agriculture*. – 2014 - № 4 (28). – P. 35-43.
3. Papulova, E.Y. The study of the maximum viscosity of starch dispersion depending on the shape and size of a grain of rice / E.Y. Papulova, K.K. Olkhovaya, N.G. Tumanyan // In the collection: Results and prospects for the development of the agro-industrial complex. Collection of materials of the International scientific and practical conference. S. Salty Zaimishche. – 2020. – P. 293-295.
4. Chizhikova, S.S. The quality of varieties of rice harvest 2017, 2018. Breeding of the Institute of Rice of competitive variety testing / S.S. Chizhikova, G.L. Zelensky, N.G. Tumanyan // In the book: Scientific support of the agro-industrial complex. Collection of abstracts based on the materials of the All-Russian (national) conference. Responsible for the issue A. G. Koshchayev. – 2019. – P. 39-40.
5. Bhat, F.M. Physicochemical, cooking, and textural characteristics of grains of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars of temperate region of India and their interrelationships / F.M. Bhat, C.S. Riar // *Journal of Texture Studies*. – 2017. – V. 48 (2). – P. 160–170.
6. Chandraratna, M.F. A biometrical analysis of matroclinous inheritance of grain weight in rice / M.F. Chandraratna // *Heredity*. – 1960. – V. 14. – № 3. – P. 365-373.
7. Kumar, S.S. Variability, correlation and path studies in coloured rice Kumar / S.S. Kumar, Y. Suneetha, G.V. Kumar, V.S. Rao, D.S. Raja, Srinivas // *International Journal of Chemical Studies*. – 2020. – 8(4). – P. 2138-2144.
8. Meng, B. Identification and allele combination analysis of rice grain shape-related genes by genome-wide association study / B. Meng, T. Wang, Y. Luo, Y. Guo, D. Xu, Ch. Liu, J. Zou, L. Li, Y. Diao, Zh. Gao, Zh. Hu, X. Zheng // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2022. – 23. – 1065.
9. Oko, A.O. Rice cooking quality and physico-chemical characteristics: a comparative analysis of selected local and newly introduced rice varieties in ebonyi state, Nigeria / B. E. Ubi, N. Dambaba // *Food and Public Health*. – 2012. – V. 2 (1). – P. 43–49.
10. Pokhrel, A. Evaluation of Physicochemical and Cooking Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.) Landraces of Lamjung and Tanahun Districts, Nepal / A. Pokhrel, A. Dhakal, Sh. Sharma, A. Poudel // *International journal of food science*. – 2020. - Article id 1589150.
11. Sadhana, P. Studies on variability, correlation and path coefficient analysis for yield and quality traits in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes / Ch. Damodar Raju, L.V. Subba Rao and Aparna Kuna // *Electronic Journal of Plant Breeding*. – 2022. – V. 13(2). – P. 670 – 678.
12. Sakamoto, T. Identifying and exploiting grain yield genes in rice. / T. Sakamoto, M. Matsuoka // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2008. – V. 11 (2). – P. 209-2142.
13. Singh, N. Physicochemical, cooking and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars / N. Singh, L. Kaur, N. S. Sodhi, K. S. Sekhon // *Food Chemistry*. – 2005. – V. 89 (2). – P. 253–259.
14. Tan, Y.F. Genetic bases of appearance quality of rice grains in Shanyou 63, an elite rice hybrid / Y.F. Tan, Y.Z. Xing, J.X. Li, S.B. Yu, C.G. Xu, Q. Zhang // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2000. – V. 101. – P. 823–829.
15. Zhang, Q. Fine Mapping of qTGW3-1, a QTL for 1000-Grain Weight on Chromosome 3 in Rice / Q. ZHANG, G. Yao, G. Hu, Ch. Chen, B. Tang, Zhang H., Z. Li // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2012. – V. 11 (6). – P. 879-887.

Светлана Сергеевна Чижикова

Старший научный сотрудник лаборатории качества риса
E-mail: Kvetochka2005@yandex.ru

Svetlana Sergeevna Chizhikova

Senior researcher at the rice quality laboratory
E-mail: Kvetochka2005@yandex.ru

Элина Юрьевна Папулова

Старший научный сотрудник лаборатории качества риса
E-mail: elya888.85@mail.ru

Elina Yurievna Papulova

Senior researcher at the Rice Quality Laboratory
E-mail: elya888.85@mail.ru

Наталья Георгиевна Туманьян

Заведующая лабораторией качества риса
E-mail: tngerag@yandex.ru

Natalia Georgievna Tumanyan

Head of laboratory of rice quality
E-mail: tngerag@yandex.ru

ФГБНУ «ФНЦ риса»

350921, Россия, г. Краснодар, пос. Белозерный, 3

FSBSI «FSC of rice»

3, Belozerniy, Krasnodar, 350921, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-53-58
УДК 633.181: 631.671.3: 58.032.3

Слабченко А.С.,
Джамирзе Р.Р., канд. с.-х. наук
г. Краснодар, Россия

ВОЗДЕЛЫВАНИЕ РИСА В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ВОДЫ (ОБЗОР)

Рис (*Oryza sativa*) является одной из важнейших культур в мировом земледелии. Основным рисосеющим субъектом РФ является Краснодарский край с общей площадью под культурой около 125 тыс. га. Учитывая то, что дефицит воды в последние годы в орошаемом землепользовании (рисоводстве) ощущается во многих регионах мира и в частности юга европейской области России, вопрос эффективного использования водных ресурсов в рисоводстве является, несомненно, важным. Ежегодное снижение суммы выпадающих осадков, наблюдаемое с 2019 года, неизбежно ведет к падению уровня воды в реках Кубань, Волга и Дон, увеличивая риск сокращения площадей под рисом и частичную гибель в засушливых регионах. Поэтому необходима оптимизация водного режима с целью эффективного использования сокращающихся ресурсов пресной воды на максимально возможной площади возделывания риса. В обзоре кратко освещены физиологические реакции растения риса на сброс воды на разных этапах роста и развития, знание которых позволит сохранить экологическую стабильность, оптимизировать параметры сортов, обеспечивающие минимальное водопотребление, снизить общие затраты воды за счет сокращения оросительной нормы поливов, снижения слоя и сокращения периода затопления без существенного снижения продуктивности. Однако специфичность биохимического состава зерна, формирующегося в разных условиях водного дефицита, подталкивает к комплексной оценке морфофизиологических признаков, обуславливающих величину урожайности, также сортовые и посевные качества семян в условиях семеноводства, технологические показатели качества зерна.

Ключевые слова: рис, семеноводство, водный режим, урожай.

RICE CULTIVATION UNDER CONDITIONS OF WATER SHORTAGE (REVIEW)

Rice (*Oryza sativa*) is one of the main crops in world agriculture. The main rice growing subject of Russian Federation is Krasnodar region with a total sowing area of this crop of about 125 thousand ha. Given that water scarcity in recent years in irrigated land use (rice farming) has been felt in many regions of the world and in particular in the south of the European region of Russia, the issue of effective use of water resources in rice farming is undoubtedly important. The annual decrease in precipitation observed since 2019 inevitably leads to a drop in water levels in the Kuban, Volga and Don, increasing the risk of a reduction in rice area and partial loss in arid regions. This implies the need to optimize the water regime in order to effectively use diminishing freshwater resources on the largest possible area of rice cultivation. The review briefly highlights the physiological responses of the rice plant to water discharges at different stages of growth and development, knowledge of which will allow maintaining environmental stability, optimizing the parameters of varieties that ensure minimal water consumption, reducing overall water costs by reducing the irrigation rate, reducing the layer and shortening the period of flooding without significant reduction in productivity. However, the specificity of the biochemical composition of grain, formed under different conditions of water deficiency, prompts a comprehensive assessment of the morpho-physiological traits that determine the yield, technological indicators of grain and milled rice quality, as well as the varietal and sowing qualities of seeds under seed production conditions.

Key words: rice, seed production, water regime, yield.

Рис (*Oryza sativa* L.) играет ключевую роль в пищевой безопасности, являясь основным источником питания для 2/3 мирового населения. Однако, стихийные бедствия, включая стресс от засухи, наводнения, вредителей и болезней, приводят к значительным потерям урожая, достигающим примерно 200 млн т. Стресс от засухи в частности может вызвать до 50 % общих потерь урожая риса. Вода является важным элементом для роста и развития всех живых организмов, включая растения. Нехватка доступной воды влияет не только на рост и развитие, но и на метаболические функции расте-

ний [18, 23]. Дефицит воды или засуха – это отсутствие достаточного количества влаги, необходимой растению для нормального роста и завершения его жизненного цикла. Водный стресс может возникать на разных стадиях роста с разной продолжительностью и интенсивностью, что влияет на рост, развитие и урожайность растений. Важность воды для роста и развития растений, особенно риса, не может быть недооценена. Это основной элемент, который влияет на все аспекты жизни растения, от роста до метаболических функций. Однако, когда ресурсы воды становятся ограни-

ченными, как это происходит во время засухи, это может привести к серьезным последствиям для урожая [31, 34].

Затруднение подачи пресной воды с начала августа для орошения сельскохозяйственных культур, в частности риса на Кубани и в Адыгее повышает риск недобора урожая и снижения качества зерна и крупы. На селекционных и семеноводческих посевах это также оказывает негативное влияние на формирование зерна и его посевные качества. Решение этой проблемы заключается в правильном подборе сортов, посеве в оптимальные сроки и научно обоснованной стратегии режима орошения. Ассортимент сортов отечественной селекции (интенсивные, полунинтенсивные и экстенсивные) позволяет подобрать сорта для возделывания в хозяйствах с разным агротехническим уровнем обеспеченности и в большинстве агроэкологических зон Краснодарского края, Ростовской области, Адыгее, Дагестане, Чечне, Калмыкии и т.д. Однако глобальное потепление климата, сокращение дебета пресноводных водоемов (водохранилищ и рек) подталкивает рисоводов к оптимизации водного режима в основных рисосеющих регионах.

Целью обзора является изучение возможности оптимизации водного режима рисового фитоценоза с минимальным риском потери урожая и качества зерна и крупы, а также максимальной экономией ресурсов пресной воды в период выращивания риса.

Рис отличается от других сельскохозяйственных культур гидрофитностью своей природы, что обуславливает в мировой практике возделывание данной культуры с затоплением полей слоем воды. Специфика ее объясняется тем, что растения орошаемого риса хорошо приспособлены к развитию на затопленной почве и успешно растут даже на почвах, в которых не хватает кислорода, а общая потребность в воде у них выше, чем у других культурных растений. В связи с этим поверхность почвы на рисовых чеках должна быть хорошо выровненной для равномерного распределения слоя воды и обеспечения одинаковой глубины при затоплении [12, 17].

Слой воды в наибольшей степени удовлетворяет физиологические потребности риса в воде и делает его культурой страховой, дающей высокие, гарантированные урожаи. Поэтому возделывание риса с затоплением является основным типом культуры, для получения высоких урожаев в рисосеющих регионах нашей страны. По заверениям некоторых ученых, слой воды на поле, создавая оптимальную среду для произрастания риса, выполняет и другие важные функции: способствует лучшему развитию корневой системы, улучшает условия минерального питания, оказывает про-

мывное воздействие на почву, что особенно важно при освоении засоленных земель, защищает почву от ветровой эрозии, а также способствует борьбе со многими сорняками [1, 7, 35].

Установлено, что около 40 % всего количества воды расходуется на транспирацию с поверхности листьев, т. е. это то количество, которое фактически поглощают растения риса. Из этого следует, что культура орошаемого риса требует воды почти в три раза больше того количества, которое непосредственно доступно растениям [4, 13]. Слой воды также имеет важное значение как фактор формирования метелки. Исследованиями отечественных ученых установлено, что максимальное заложение колосков на метелке происходит при более низкой температуре воды (20-21 °С). Из этого следует, что для повышения продуктивности метелки необходимо создавать оптимальный тепловой режим воды в период формирования конуса нарастания. Это достигается созданием на чеках глубокого слоя воды или обеспечением проточности в фазе образования 7-9-го листьев. Данный прием целесообразно использовать прежде всего на семенных участках, незначительная площадь которых позволяет его легче осуществить [10, 14].

В исследованиях Ерыгина П.С. отмечена разница температур при разной степени увлажнения почвы. Так ранее было установлено, что для каждой фазы вегетации средние температуры и их сумма увеличивались с уменьшением влажности почвы, что обуславливает рост температурных колебаний за сутки. Это положение особенно важно для риса, корневая система которого располагается в слое 0-20 см, поскольку большая амплитуда температурных колебаний оказывает негативное воздействие на ее физиологическую активность [9, 27]. Таким образом, было установлено, что по мере увеличения содержания воды в почве пропорционально увеличивается длина и количество придаточных корней. Наиболее интенсивное нарастание придаточных корней происходит в интервале влажности 45-75 % и при переходе от увлажнения к затоплению [3, 8].

На примере экспериментальных опытов было показано, что интенсивность физиологической активности надземной биомассы также зависит от оводненности почвы. Интенсивность роста стеблей при 60 % капиллярной влагоемкости почвы снижается, а при повышении влажности вплоть до создания слоя наблюдается активный рост побегов. Наиболее существенно сбросы воды оказывают воздействие на растения в период разрастания стеблей. Здесь важно также отметить, что ростовые процессы в зоне узла кущения стимулируются почвенной влажностью выше 60 % и затоплением [16, 24, 32]. Анализ литературных источников

подтверждает, что негативное действие сбросов воды проявляется не только в уменьшении высоты растения, но и на образовании боковых побегов, количество которых заметно снижается. Так, сброс воды в начале кущения подавляет побегообразование, что даже последующее затопление не обеспечивает того количества, какое было бы при постоянном слое. Ослабление кущения риса при сбросах воды обусловлено усиленным отмиранием поздно появившихся побегов [9, 17].

Ранее было выявлено, что сбросы воды, производившиеся до цветения, оказывали воздействие на скорость появления метелок (выметывание). Установлено, что появление метелок у растений риса при всех сроках сброса воды запаздывало на 1-2 дня, а также выметывание растягивалось по времени [14, 20]. Это указывает на то, что даже небольшие изменения в водном режиме могут иметь значительное влияние на фенологию риса и, в конечном итоге, на урожайность [21, 30].

По заверениям зарубежных (японских) ученых, урожай зерна риса с затопляемого поля несколько ниже, чем при условии увлажнения почвы 70-80 % от полной влагоемкости, но, если влажность почвы достигает 50 % полной влагоемкости, урожай составит половину или треть нормального урожая [2, 5]. Сильное снижение урожая при поддержании влажности в 45 и 60 % в период цветения объясняется стерильностью колосков, которая обуславливает возрастающую пустозерность. При достаточной влажности почвы наблюдается обильная гуттация с кончиков листьев в период с вечера до раннего утра, но при влажности почвы ≤ 40 % гуттация прекращается и следом листья начинают увядать, а при дальнейшем снижении ее до 20 % листовые пластинки скручиваются, принимая игловидную форму и начинают отмирать [9, 14].

Оптимальный водный режим во время прорастания и укоренения ростков риса является ключевым элементом в обеспечении высокого урожайного потенциала. В настоящее время, большинство рисоводческих хозяйств используют определенный водный режим – укороченное затопление – это когда после первого залива семена набухают под слоем воды, а прорастание до появления шильца происходит без слоя при максимальной влагоемкости. При данном водном режиме, поля затапливаются слоем воды глубиной 12-15 см за 3-4 дня, после чего прекращается подача воды, а слой постепенно профильтровывается и испаряется [6, 10]. В этот период поля остаются без слоя воды до момента, пока рядки всходов ясно обозначатся, после чего снова затапливают слоем воды 15-20 см. Установлено, что этот водный режим позволяет получать более дружные и густые всходы. Достаточная аэрация прорастающих семян усиливает разрастание корневой системы и улучшает

ее укоренение, что сопровождается интенсивным ростом растения риса [11]. Важно также отметить, что повышение осведомленности среди сельскохозяйственных производителей о важности рационального использования водных ресурсов, и предоставление им доступа к ресурсам для внедрения эффективных стратегий орошения может способствовать смягчению рисков, связанных с дефицитом воды. Это важный аспект, который помогает обеспечить устойчивое развитие аграрного сектора и сохранение природных ресурсов для будущих поколений [26, 33].

Величина урожая является итоговым показателем реакции разных сортов риса по отношению к степени оводненности почвы и слоям затопления. Установлено, что повышение слоя воды более 15 см снижает урожайность подавляющего большинства сортов риса. Не только урожай зерна, но и разрастание всех вегетативных органов находится в тесной зависимости от глубин затопления. Слой воды толщиной ≥ 30 см резко снижает накопление сухого вещества, что также сопровождается снижением общей массы вегетативных органов, вследствие чего продуктивность растений сводится к минимуму [14, 17].

Отсутствие слоя воды и степень оводненности почвы рисовых полей в фазы цветения и налив зерна оказывают отрицательное влияние на биохимический состав зерна и накопление сухого вещества. Известно, что вес зерновок резко увеличивается в фазы молочной и восковой спелости, к завершению которых зерновка накапливает около 90 % сухого вещества при одинаковом содержании моносахаров в независимости от дефицита воды [15, 19]. Однако существует мнение, что содержание общего азота в зерне полученном при постоянном затоплении заметно меньше, чем в зерне растений, вегетировавших при сбросах воды. Из этого следует, что недостаточное снабжение водой растений в период созревания при поддержании почвы во влажном состоянии интенсивность накопления азотистых соединений возрастает, что может указывать на иные условия созревания зерна на незатопленной почве [28].

Исходя из этого возникает необходимость изучения закономерностей формирования урожая и выявления характера и тесноты взаимосвязей хозяйственно ценных признаков новых сортов риса в условиях отсутствия слоя воды на поле и разной степени увлажнения почвы на завершающем этапе вегетации – фазе налива зерна [22, 29]. Это в перспективе позволит оптимизировать водопотребление в период острой ее нехватки и повысить рентабельность производства риса без существенного снижения урожайности и качества зерна за счет своевременного прекращения подачи воды. Этот вопрос приобретает особую актуальность в усло-

виях глобального потепления, которое может привести к изменениям в режиме осадков и уменьшению объема пресной воды в водоемах [25].

Выводы

1. Сбросы воды в разные фазы развития риса действуют не одинаково на созревающее зерно. Сброс воды с последующим поддержанием высокой влажности почвы в фазе цветения слабо отражается на величине урожая, но заметно сказывается на интенсивности биохимических процессов в созревающих зерновках.

2. При низкой влажности почвы, 60-45 %, наряду с нарушением химических процессов образования зерна, происходит существенное снижение урожая. Сбросы воды в фазе молочной спелости

сдерживают наливание зерна без ощутимого снижения урожая. Отсутствие слоя воды в фазе восковой спелости не отражается на величине урожая, но оказывает влияние на химический состав зерна – изменение содержания общего азота.

3. В свете вышесказанного, следует предположить, что поддержание слоя воды после наступления восковой спелости не является неотъемлемым агротехническим приемом, вызванным физиологической потребностью растения риса. Однако это предположение требует экспериментального подтверждения в специальных опытах. Без этого может оказаться, что поиски путей экономии воды вступят в неразрешимое противоречие с физиологическими требованиями риса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алёшин, Е. П. Рис / Е. П. Алёшин, Н. Е. Алешин. – 2. изд., перераб. и доп. – Краснодар, 1997. – 504 с.
2. Балакай, Г.Т. К вопросу разработки норм водопотребности риса и водоотведения с рисовых оросительных систем / Г.Т. Балакай, Л.М. Докучаева, Р.Е. Юркова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – № 3(31). – 2018 г. – С. 1-22.
3. Величко, Е. Б. Полив риса без затопления / Е. Б. Величко, К. П. Шумакова. – М.: Колос, 1972. – 416 с.
4. Величко, Е.Б. Экономия воды при возделывании риса / Е.Б. Величко, Ю.Н. Поляков, В.П. Амелин. – Краснодар: Кн. изд-во, 1985. – 175 с.
5. Ганиев, М.А. Новые сорта риса для производства в условиях орошения периодическими поливами / М.А. Ганиев, И.П. Кружилин, К.А. Родин // Орошаемое земледелие. – 2017. – № 1. – С. 9-10.
6. Грист, Д. Рис. Пер. с англ. М. Суетиной; под ред. А. П. Джулая [и др.]. – Москва, 1959. – 390 с.
7. Гуцин, Г. Г. Рис / Г. Г. Гуцин. – М.: Сельхозгиз, 1930. – 231 с.
8. Ерыгин, П. С. Рис / П. С. Ерыгин, Н. Б. Натальин. – М.: Колос, 1968. – 328 с.
9. Ерыгин, П.С. Физиологические основы орошения риса / П.С. Ерыгин. – Москва: Изд-во и 2-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР. – 1950. – 208 с.
10. Зайцев, В.Б. Рисовая оросительная система / В.Б. Зайцев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1975. – 352 с.
11. Костылев, П.И. Изучение устойчивости риса к водному дефициту / П.И. Костылев, А.В. Аксенов, Е.В. Краснова // Аграрный вестник Урала. – 2022. – № 1(216). – С. 12-20.
12. Любушкин, С. Н. Режим орошения и дозы внесения удобрений на посевах риса с периодическими поливами в Сарпинской низменности: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / С. Н. Любушкин. – Волгоград, 2010. – 24 с.
13. Теория и практика выращивания риса (перевод с англ.). Под редакцией Е.П. Алешина, К.С. Кириченко, А.П. Сметанина. – М.: Колос, 1965. – 423 с.
14. Физиолого-генетические основы повышения продуктивности зерновых культур. Под редакцией Н.В. Турбина, А.А. Ничипоровича, и др. – М.: Колос, 1975. – 322 с.
15. Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / Перевод с чешского З.К. Благовещенской. – М.: Колос, 1984. – 367 с.
16. Шумакова, К. П. Рис / К. П. Шумакова // Орошаемое земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1965. – С. 96-121.
17. Щупаковский, В.Ф. Зависимость урожая и качества риса от водного режима почвы / В.Ф. Щупаковский. – Краснодар, «Труды ВНИИ риса», вып. I, 1971. – С.145-153.
18. Bodner, G. Management of crop water under drought: a review / G. Bodner, A. Nakhforoosh, H. P. Kaul // Agronomy for Sustainable Development. – 2015. – V. 35. – P. 401-442.
19. Bouman, B. A. Rice and water / B. A. Bouman, E. Humphreys, T. P. Tuong, R. Barker // Advances in agronomy. – 2017. – V. 92. – P. 187-237.
20. Bouman, B.A.M. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems / B.A.M. Bouman, S. Peng, A.R. Castañeda, et al. // Agric. Water Manag. – 2005. – V. 74. – № 2. – P. 87-105.
21. Byers, E.A. Drought and climate change impacts on cooling water shortages and electricity prices in Great Britain / E. A. Byers // Nature Communications. – 2020. – V. 11. – № 1. – P. 2239.
22. Datta, A. Water management in rice / A. Datta, H. Ullah, Z. Ferdous // Rice production worldwide. – 2017. – P. 255-277.
23. Evenari, M. Plant production in arid and semi-arid areas / M. Evenari // Water and Plant Life: problems and modern approaches. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1976. – P. 439-451.
24. Fageria, N. K. Yield physiology of rice / N. K. Fageria // Journal of plant nutrition. – 2007. – V. 30. – № 6. – P. 843-879.
25. Heidari, H. Effects of urban development patterns on municipal water shortage / H. Heidari // Frontiers in Water. – 2021. – V. 3. – P. 97-119.
26. Kozłowski T. T. Soil compaction and growth of woody plants / T. T. Kozłowski // Scandinavian Journal of Forest Research. – 1999. – V. 14. – № 6. – P. 596-619.
27. Lafitte, H. R. Requirements for aerobic rice: physiological and molecular considerations / H. R. Lafitte, J. Bennett

- // Water-wise rice production. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. – P. – 2002. – P. 259-274.
28. Melandri, G. Biomarkers for grain yield stability in rice under drought stress / G. Melandri, H. Abdelgawad, D. Riewe, et al. // *Journal of Experimental Botany*. – 2020. – V. 71. – № 2. – P. 669-683. doi: 10.1093/jxb/erz221.
29. Mishra, A. Flooding stress: The effects of planting pattern and water regime on root morphology, physiology and grain yield of rice / A. Mishra, V. M. Salokhe // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2021. – V. 196. – № 5. – P. 368-378.
30. Pedersen, O. Long-distance water transport in aquatic plants / O. Pedersen // *Plant Physiology*. – 1993. – V. 103. – № 4. – P. 1369-1375.
31. Rollins, J.A. Leaf proteome alterations in the context of physiological and morphological responses to drought and heat stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) / J.A. Rollins, E. Habte, S.E. Templer, T. Colby, J. Schmidt, M. Von Korff // *J. Exp. Bot.* 2013. – 64. – P. 3201-3212. doi: 10.1093/JXB/ERT158
32. Roy, N. N. A selection procedure in wheat for stress environment / N. N. Roy, B. R. Murty // *Euphytica*. – 1970. – V. 19. – № 4. – P. 509-521.
33. Salehi, M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis / M. Salehi // *Environment International*. – 2022. – V. 158. – P. 106-113.
34. Todaka, D. Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions / D. Todaka, Y. Zhao, T. Yoshida, et al. // *Plant J.* – 90. – 2017. – P. 61-78. doi: 10.1111/TPJ.13468
35. Turner, N. C. Adaptation of plants to water and high temperature stress / N. C. Turner, P. J. Kramer. – New York, 1981. – P. 482.

REFERENCES

1. Aleshin, E. P. Rice / E. P. Aleshin, N. E. Aleshin. – 2-d edition, revised and enlarged – Krasnodar, 1997. – 504 p.
2. Balakay, G.T. On the issue of developing standards for rice water demand and water disposal from rice irrigation systems / G.T. Balakay, L.M. Dokuchaeva, R.E. Yurkova // *Scientific journal of the Russian Research Institute for Land Reclamation Problems*. – № 3(31). – 2018. – P. 1-22.
3. Velichko, E. B. Rice irrigation without flooding / E. B. Velichko, K. P. Shumakova. – M.: Kolos, 1972. – 416 p.
4. Velichko, E.B. Water saving in rice cultivation/ E.B. Velichko, Yu.N. Polyakov, V.P. Ameling. – Krasnodar: Publishing office, 1985. – 175 p.
5. Ganiev, M.A. New rice varieties for production under intermittent irrigation conditions / M.A. Ganiev, I.P. Kruzhillin, K.A. Rodin // *Irrigated agriculture*. – 2017. – № 1. – P. 9-10.
6. Grist, D. Rice. Translated by M. Suetina; under editorship of A.P. Julay [et al.]. – Moscow, 1959. – 390 p.
7. Guschin, G. G. Rice / G. G. Guschin – M.: Selkhozgiz, 1930. – 231 p.
8. Erygin, P. S. Rice / P. S. Erygin, N. B. Natalyin. – M.: Kolos, 1968. – 328 p.
9. Erygin, P.S. Physiological bases of rice irrigation / P.S. Erygin – Moscow: Publishing office and 2-nd typography of USSR Academy of Science. – 1950. – 208 p.
10. Zaytsev, V.B. Rice irrigation system / V.B. Zaytsev. – 3-rd edition: revised and enlarged – M.: Kolos, 1975. – 352 p.
11. Kostylev, P.I. Study of rice resistance to water shortage / P.I. Kostylev, A.V. Aksenov, E.V. Krasnova // *Agrarian bulletin of the Urals*. – 2022. – № 1(216). – P. 12-20.
12. Lyubushkin, S. N. Irrigation regime and doses of fertilizers on rice crops with periodic watering in the Sarpinskaya lowland: Abstract of Ph.D. thesis / S. N. Lyubushkin. – Volgograd, 2010. – 24 p.
13. Theory and practice of rice growing (translated). Under editorship of E.P. Aleshin, K.S. Kirichenko, A.P. Smetanin. – M.: Kolos, 1965. – 423 p.
14. Physiological and genetic bases of increasing productivity of grain crops. Under editorship of N.V. Turbin, A.A. Nichiporovich, et al. – M.: Kolos, 1975. – 322 p.
15. Yield formation of major agricultural crops / Translated by Z.K. Blagoveschenskaya – M.: Kolos, 1984. – 367 p.
16. Shumakova, K. P. Rice / K. P. Shumakova // *Irrigated agriculture*. – M.: Rosselkhozizdat, 1965. – P. 96-121.
17. Schupakovskiy, V.F. Dependence of rice yield and quality on soil water regime/ V.F. Schupakovskiy. – Krasnodar, «Proceedings of All-Union Rice Research Institute», Iss. I, 1971. – P. 145-153.
18. Bodner, G. Management of crop water under drought: a review / G. Bodner, A. Nakhforoosh, H. P. Kaul // *Agronomy for Sustainable Development*. – 2015. – V. 35. – P. 401-442.
19. Bouman, B. A. Rice and water / B. A. Bouman, E. Humphreys, T. P. Tuong, R. Barker // *Advances in agronomy*. – 2017. – V. 92. – P. 187-237.
20. Bouman, B.A.M. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems / B.A.M. Bouman, S. Peng, A.R. Castañeda, et al. // *Agric. Water Manag.* – 2005. – V. 74. – № 2. – P. 87-105.
21. Byers, E.A. Drought and climate change impacts on cooling water shortages and electricity prices in Great Britain / E. A. Byers // *Nature Communications*. – 2020. – V. 11. – № 1. – P. 2239.
22. Datta, A. Water management in rice / A. Datta, H. Ullah, Z. Ferdous // *Rice production worldwide*. – 2017. – P. 255-277.
23. Evenari, M. Plant production in arid and semi-arid areas / M. Evenari // *Water and Plant Life: problems and modern approaches*. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1976. – P. 439-451.
24. Fageria, N. K. Yield physiology of rice / N. K. Fageria // *Journal of plant nutrition*. – 2007. – V. 30. – № 6. – P. 843-879.
25. Heidari, H. Effects of urban development patterns on municipal water shortage / H. Heidari // *Frontiers in Water*. – 2021. – V. 3. – P. 97-119.
26. Kozłowski, T.T. Soil compaction and growth of woody plants / T. T. Kozłowski // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 1999. – V. 14. – № 6. – P. 596-619.
27. Lafitte, H.R. Requirements for aerobic rice: physiological and molecular considerations / H. R. Lafitte, J. Bennett // *Water-wise rice production*. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. p. – 2002. – P. 259-274.

28. Melandri, G. Biomarkers for grain yield stability in rice under drought stress / G. Melandri, H. Abdelgawad, D. Riewe, et al. // *Journal of Experimental Botany*. – 2020. – V. 71. – № 2. – P. 669-683. doi: 10.1093/jxb/erz221
29. Mishra, A. Flooding stress: The effects of planting pattern and water regime on root morphology, physiology and grain yield of rice / A. Mishra, V. M. Salokhe // *Journal of Agronomy and Crop Science*. – 2021. – V. 196. – № 5. – P. 368-378.
30. Pedersen, O. Long-distance water transport in aquatic plants / O. Pedersen // *Plant Physiology*. – 1993. – V. 103. – № 4. – P. 1369-1375.
31. Rollins, J.A. Leaf proteome alterations in the context of physiological and morphological responses to drought and heat stress in barley (*Hordeum vulgare* L.) / J.A. Rollins, E. Habte, S.E. Templer, T. Colby, J. Schmidt, M. Von Korff // *J. Exp. Bot.* - 64. - 2013. – P. 3201-3212. doi: 10.1093/JXB/ERT158
32. Roy, N. N. A selection procedure in wheat for stress environment / N. N. Roy, B. R. Murty // *Euphytica*. – 1970. – V. 19. – № 4. – P. 509-521.
33. Salehi, M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis / M. Salehi // *Environment International*. – 2022. – V. 158. – P. 106-113.
34. Todaka, D. Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions / D. Todaka, Y. Zhao, T. Yoshida, et al. // *Plant J.* 90, 2017. – P. 61-78. doi: 10.1111/TPJ.13468
35. Turner, N. C. Adaptation of plants to water and high temperature stress / N. C. Turner, P. J. Kramer. – New York, 1981. – P. 482.

Арина Сергеевна Слабченко

Аспирант отдела селекции
arri_kub@mail.ru

Arina Sergeevna Slabchenko

Post-graduate student of breeding department
E-mail: arri_kub@mail.ru

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

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар, Белозерный, 3

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

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-59-63

УДК: 528.9:631.8:631.18

Чижиков В.Н., канд. с.-х. наук,
Шарифуллин Р.С., канд. с.-х. наук
г. Краснодар, Россия

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ РИСОВЫХ ПОЛЕЙ

По результатам проведенных исследований выявлена пространственная изменчивость агрохимических показателей лугово-черноземной почвы рисовых полей оросительной системы (РОС) отделения № 2 РПЗ «Красноармейский» филиала ФГБНУ «ФНЦ риса». Изучаемые показатели имели разный уровень вариабельности в границах исследуемого участка поля рисового севооборота. Определены коэффициенты вариации четырёх полей рисового севооборота (многолетние травы, рис 1-й год и 3-й год после многолетних трав, озимая пшеница) по наиболее информативным агрохимическим показателям ($pH_{\text{вод}}$, гумус, подвижный фосфор). Согласно полученным данным установлено, что наименьшая вариабельность была по содержанию гумуса в пахотном слое почвы. Коэффициент вариации, в зависимости от поля севооборота, находился в диапазоне от 4,0, до 16,0 %, что говорит о его однородности по содержанию. Обеспеченность почвы исследуемых полей гумусом низкая, согласно градации. Содержание в почве подвижного фосфора изменялось от 2,00 до 9,53 мг/100 г почвы, что указывает на значительное его варьирование в пределах поля рисового севооборота. Наибольшие коэффициенты вариации (41,0 и 21,0 %) отмечены по полям севооборота, где возделывали рис. Высокая вариабельность в границах поля рисового севооборота, свидетельствует о необходимости дифференцированного подхода при разработке системы минерального питания с учетом обеспеченности почвы рисового поля. Поле рисового севооборота (карты № 44-49), где возделывали многолетние травы имело низкую вариабельность по содержанию подвижного фосфора, коэффициент вариации составил 19 %. Обеспеченность была высокой, согласно градации. Определение реакции почвенной среды показало, что она находилась в диапазоне от слабокислой до нейтральной ($pH_{\text{вод}}$ 6,36-7,13), коэффициент вариации по полям севооборота был в пределах 2,0-4,0 %, что характеризует его низкую пространственную изменчивость в пределах исследуемых полей. Применение геоинформационной программы QGIS позволило создать тематические картограммы, в основе которых база данных с атрибутивной информацией по наиболее информативным показателям плодородия почвы имеющих географическую привязку.

Ключевые слова: почва, агрохимические показатели, картограммы агрохимических показателей почвы, геоинформационная база данных по показателям плодородия.

SPATIAL VARIABILITY OF AGROCHEMICAL INDICATORS OF RICE FIELDS SOILS

Based on the results of the research, spatial variability of the agrochemical indicators of the meadow-chernozem soil of the rice fields of the irrigation system (ROS) of department № 2 of the Krasnoarmeysky RPPZ, a branch of the Federal State Budgetary Institution "FSC of Rice", was revealed. The studied indicators had different levels of variability within the boundaries of the studied area of the rice crop rotation field. The coefficients of variation of four fields of rice crop rotation (perennial grasses, rice 1st year and 3rd year after perennial grasses, winter wheat) were determined according to the most informative agrochemical indicators (pH_{water} , humus, mobile phosphorus). According to the data obtained, it was established that the least variability was in the humus content in the topsoil. The coefficient of variation, depending on the field of crop rotation, ranged from 4.0 to 16.0 %, which indicates its uniformity in content. The supply of humus to the soil in the studied fields is low, according to the gradation. The content of available phosphorus in the soil varied from 2.00 to 9.53 mg/100 g of soil, which indicates its significant variation within the field of rice crop rotation. The highest coefficients of variation (41.0 and 21 %) were observed in crop rotation fields where rice was cultivated. High variability within the boundaries of the rice crop rotation field indicates the need for a differentiated approach when developing a mineral nutrition system, taking into account the availability of soil in the rice field. The field of rice crop rotation (maps № 44-49), where perennial grasses were cultivated, had low variability in the content of available phosphorus, the coefficient of variation was 19 %. Security was high, according to the gradation. Determination of the reaction of the soil environment showed that it was in the range from slightly acidic to neutral (pH_{water} 6.36-7.13), the coefficient of variation across crop rotation fields was in the range of 2.0-4.0 %, which characterizes its low spatial variability within the study fields. The use of the QGIS geoinformation program made it possible to create thematic cartograms, which are based on a database with attribute information on the most informative indicators of soil fertility that are geographically referenced.

Key words: soil, agrochemical indicators, cartograms of agrochemical soil indicators, geoinformation database on fertility indicators.

Введение

Информация о параметрах плодородия сельскохозяйственных угодий является основным условием при разработке системы минерального питания обеспечивающей плановую урожайность возделываемых культур. В современных экономических условиях развитие сельскохозяйственной отрасли требует внедрения передовых технологических решений, базирующихся на технологии точного земледелия, ключевым элементом которой является дифференцированное внесение минеральных удобрений. Эта технология позволяет внести планируемые дозы с учётом обеспеченности каждого рисового поля, элементарным участком которого является рисовый чек. Современная техника по внесению минеральных удобрений, имеющая спутниковые навигационные системы и микропроцессорное управление разбрасывателем обеспечивает их прецизионное внесение. Это позволяет обеспечивать точное внесение оптимальных доз для каждого элементарного участка рисового поля и обеспечить выполнение требований по защите окружающей среды. При применении удобрений необходимо принимать во внимание внутрипольную пестроту плодородия почв, что не менее важно, чем различия показателей плодородия отдельных полей, которые учитываются в традиционных технологиях земледелия [1, 3, 5, 6, 9, 11].

Обеспеченность растений риса элементами минерального питания определяется показателями плодородия почв рисовых полей, которым характерна пространственная изменчивость [8, 10]. Вариативность агрохимических показателей в границах поля указывает о наличии зон неоднородностей, что определяет необходимость дифференцированного подхода к применению минеральных удобрений. На основе данных агрохимического обследования выделяются участки с разным уровнем плодородия для них определяются дозы минеральных удобрений и с использованием созданной геоинформационной базы данных формируются картограммы по их внесению [1, 9, 10, 11].

Применение геоинформационных систем в исследованиях по оценке пространственной неоднородности агрохимических свойств почв является основным элементом при освоении прецизионных агротехнологий в рисоводстве, что позволяет более полно и эффективно использовать минеральные удобрения и тем самым достигать увеличения продуктивности посевов риса [3, 6, 9, 11, 13].

Совершенствование технологии дифференцированного внесения удобрений в рисовых севооборотах позволяет более полно и эффективно использовать минеральные удобрения и тем самым достигать увеличения продуктивности посевов риса. Однако без правильно разработанной технологии достичь рационального использования

удобрений невозможно. Изучение варьирования агрохимических показателей и элементов питания в почвах позволит более полно использовать возможности применяемых удобрений при возделывании риса.

Цель исследований

Определить степень пространственной изменчивости агрохимических показателей лугово-чернозёмной почвы по полям рисовых севооборотов.

Материалы и методы

Объектом исследований является лугово-чернозёмная тяжелосуглинистая, старопашотная почва (пос. Краснодарский, РПЗ «Красноармейский»). Исследования проводились на полях рисового севооборота (опытные участки). Почвенные пробы отбирались в осенний период с глубины 0-20 см тростевым буром. С каждого опытного участка (чека) отбиралась одна объединённая проба почвы маршрутным ходом по середине параллельно его длинной стороне, которая состояла из 20-25 точечных проб общей массой 350-400 г (ГОСТ Р 58595-2019). Исследования проводили на полях рисового севооборота: карты 1-6 (поле II к) – рис третий год по травам; карты 50-56 (поле III к) – рис по пласту трав; карты 11, 12 (поле VIII в) – озимая пшеница; карты 44-49 (поле III к) – многолетние травы (люцерна).

В почвенных образцах определяли гумус общий по Тюрину; фосфор подвижный по Чирикову; рН водной вытяжки – потенциметрически [4, 7, 12].

Данные агрохимического обследования почвы рисовой оросительной системы были подвергнуты статистической обработке, которая проводилась с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics [2, 12, 14]. Формирование агрохимических картограмм выполнялось в геоинформационной программе QGIS на основе разработанной геоинформационной базы данных, состоящей из атрибутивной информации, включающей в себя: агрохимические показатели почвы, номера полей, карт, чеков и др. данных рисовой оросительной системы, имеющих географическую привязку [15].

Результаты и обсуждение

На основе проведённых исследований выполнена оценка агрохимических свойств почвы в границах поля рисового севооборота, элементарным участком которой является рисовый чек. По данным агрохимического обследования рисовых полей создана геоинформационная база данных, сформированы тематические картограммы пространственного распределения агрохимических показателей плодородия почвы. Статистическая обработка данных агрохимических показателей исследуемых полей показала, что они варьируют в границах рисового поля, что говорит об их пространственной неоднородности (табл.). Анализ данных, исследуемых рисовых полей, выявил участки,

имеющие разные категории обеспеченности, диапазон между минимальными и максимальными значениями показателей не превышает единицы градации обеспеченности.

Реакция среды (рН вод.) в пахотном слое почвы

варьировала в пределах от слабокислой до нейтральной (6,36 до 7,13). Однако в целом она была нейтральная, но отмечена тенденция к сдвигу в сторону подкисления. Коэффициент вариации исследуемого показателя был в пределах 2,0 - 4,0 %.

Таблица. Статистические характеристики агрохимических показателей лугово-чернозёмной почвы по полям рисового севооборота

| Параметр | Карты № 1-6 | Карты № 50-55 | Карты № 44-49 | Карты № 11, 12 |
|--|-------------|---------------|---------------|----------------|
| рН | | | | |
| Среднее | 6,72 | 6,91 | 6,79 | 6,61 |
| Стандартное отклонение | 0,21 | 0,19 | 0,13 | 0,25 |
| Коэффициент вариации, % | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 4,0 |
| min | 6,56 | 6,70 | 6,66 | 6,36 |
| max | 7,13 | 7,13 | 6,93 | 6,93 |
| Гумус, % | | | | |
| Среднее | 3,02 | 2,75 | 2,99 | 3,31 |
| Стандартное отклонение | 0,26 | 0,43 | 0,43 | 0,12 |
| Коэффициент вариации, % | 9,0 | 16,0 | 15,0 | 4,0 |
| min | 2,62 | 2,05 | 2,38 | 3,14 |
| max | 3,39 | 3,17 | 3,47 | 3,45 |
| P ₂ O ₅ , мг/100 г | | | | |
| Среднее | 3,11 | 2,71 | 6,42 | 8,48 |
| Стандартное отклонение | 1,29 | 0,53 | 1,19 | 0,94 |
| Коэффициент вариации, % | 41,0 | 21,0 | 19,0 | 11,0 |
| min | 2,00 | 2,07 | 5,13 | 7,0 |
| max | 5,13 | 3,53 | 8,33 | 9,53 |

Содержание гумуса в лугово-чернозёмной почве исследуемых полей рисового севооборота варьировало от 2,05 до 3,45 %. Наибольший коэффициент вариации по данному показателю составил 16 %. Согласно градации по содержанию гумуса в пахотном горизонте, почва исследуемого участка РОС РПЗ «Красноармейский» характеризуется как низко обеспеченная.

Обеспеченность лугово-чернозёмной почвы по полям рисового севооборота подвижным фосфором варьировала от 2,00 до 9,53 мг/100 г почвы и имела значительную изменчивость в границах каждого поля рисового севооборота (рис.). Наибольшее варьирование подвижного фосфора в границах поля рисового севооборота было получено на участке (карты 1-6), где возделывали рис 3-й год после многолетних трав – коэффициент вариации составил 41 %, что говорит о его значительной пространственной изменчивости и необходимости дифференцированного подхода при внесении фосфорных удобрений. Содержание подвижного фосфора на этом поле находилось в диапазоне трёх градаций: низкое, среднее и повышенное. Поле рисового севооборота, где возделывали рис 1-й год после многолетних трав (карты № 50-55) коэффициент вариации составил 21,0 %, а

на полях с многолетними травами (карты № 44-49) и пшеницей (карты № 11, 12) – 19,0 и 11,0 % соответственно.

С использованием геоинформационной базы данных по агрохимическим показателям лугово-чернозёмной почвы созданы тематические картограммы по агрохимическим показателям рисовых полей РОС РПЗ «Красноармейский», состоящие из полигонов, которые являются элементарными участками РОС (чеки). Разработана структура геоинформационной базы данных основанная на пространственной и атрибутивной информации с привязкой к картографической основе по наиболее информативным показателям плодородия почвы (рН, гумус, подвижный фосфор и др.). Агрохимическая картограмма пространственного распределения подвижного фосфора лугово-чернозёмной почвы представлена на рисунке.

Выводы

1. Определены количественные значения агрохимических показателей исследуемых полей РОС и установлена степень их пространственной изменчивости. Выделены участки с пространственной неоднородностью распределения содержания гумуса и подвижного фосфора. Содержание гумуса в почве имело низкую вариабельность и нахо-

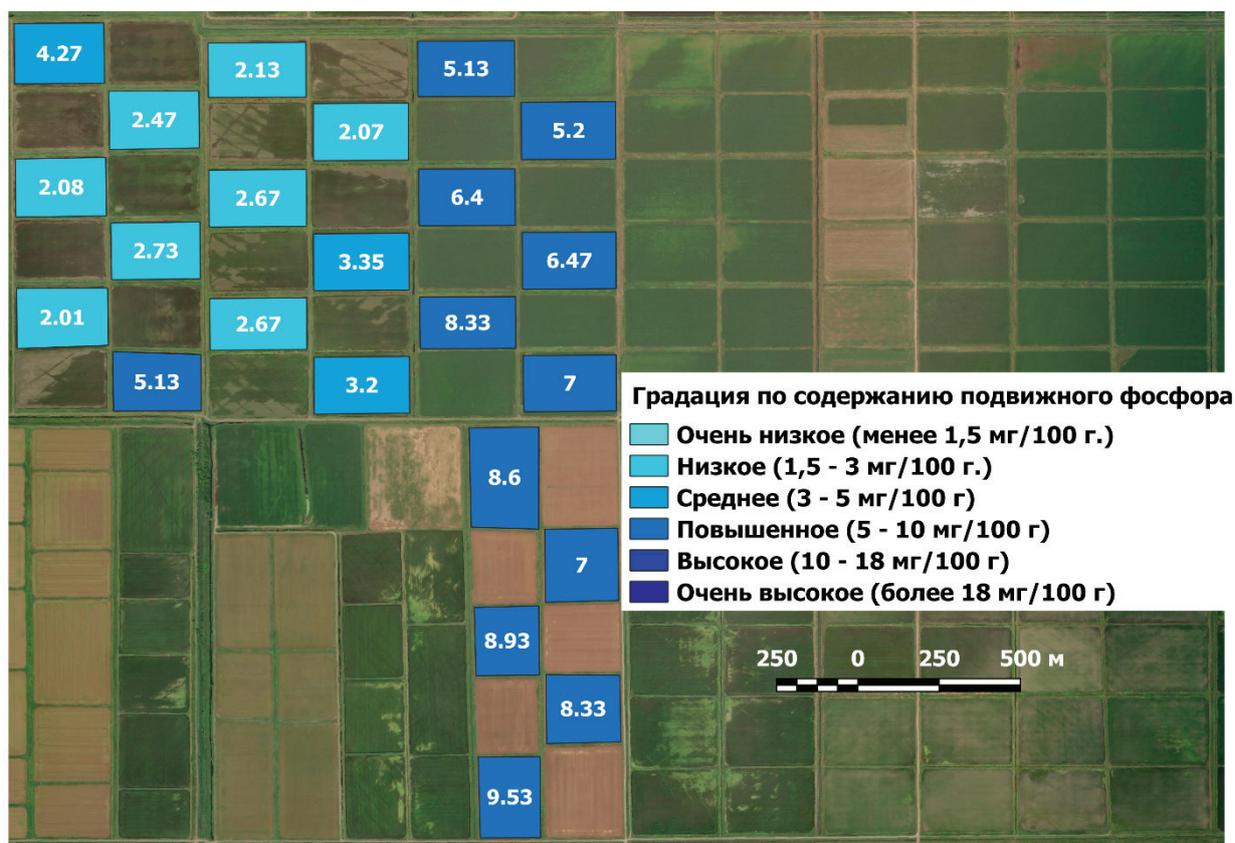


Рисунок. Картосхема пространственного распределения подвижного фосфора лугово-чернозёмной почвы

дилось в диапазоне от 4,0 до 16,0 %. Наибольшая вариабельность была получена по содержанию подвижного фосфора в почве, которая составила 41,0 %, что говорит о его высокой пространственной изменчивости в границах поля и необходимости дифференцированного подхода при определении доз фосфорных удобрений.

2. Применение геоинформационного программного обеспечения QGIS позволило создать циф-

ровые тематические картограммы по агрохимическим показателям, основу которых составляет геоинформационная база данных с атрибутивной информацией по наиболее информативным показателям плодородия почвы рисовых полей. Использование полученных данных позволяет формировать карты предписаний для дифференцированного внесения минеральных удобрений и мелиорантов на рисовых полях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев, Р.А. Методика полевых опытов по дифференцированному применению удобрений в условиях точного земледелия / Р.А. Афанасьев // Проблемы агрохимии и экологии. – М.: – 2010. – № 1. – С. 38-44.
2. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учебник / науч. Ред. Ю.Н. Благовещенский, изд-е 3-е, испр. и доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 328 с.
3. Духанин, Ю.А. Информационная оценка плодородия почв / Ю.А. Духанин, В.И. Савич, Б.Н. Батанов, К.В. Савич. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 476 с.
4. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: Колос, 2008. – 599 с.
5. Методические указания по проведению комплексного мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ВНИИА – 2003. – 240 с.
6. Пивоварова, Е.Г. Моделирование пространственной вариации и временной динамики агрохимических свойств почвы / Экспериментальная информация в почвоведении: теория и пути стандартизации. – М.: МГУ, 2005. – С. 58-60.
7. Рябцова, С.А. Методические указания по проведению агрохимического обследования и анализа длительно затопляемых почв / С.А. Рябцова, В.Н. Чижиков, Т.Н. Бочко, Л.А. Швыдка. – Краснодар, 2012. – 51 с.
8. Рекомендации по применению удобрений под рис. Под редакцией Е.П. Алёшина. – Майкоп, 1993. – 98 с.
9. Самсонова, В.П. Картосхемы почвенных свойств для целей точного земледелия / С.В. Железова, Е.В. Березовский // Проблемы агрохимии и экологии. – М. – 2010. – № 4. – С. 18-22.
10. Система рисоводства Российской Федерации / под общ. Ред. С.В. Гаркуши. – Краснодар: ФГБНУ «ФНЦ риса»; Просвещение-ЮГ, 2022. – 368 с.

11. Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования / Сборник статей. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. – 350 с.
12. Шеуджен, А.Х. Методика агрохимических исследований и статистическая оценка их результатов: учеб. пособие. 2-е изд. перераб. и доп. / А.Х. Шеуджен, Т.Н. Бондарева. – Майкоп, ОАО «Полиграф-ЮГ», 2015. – 661 с.
13. Fatholouloumi, S. Improved digital soil mapping whit multitemporal remotely sensed satellite data fusion: A case study in Iran / S. Fatholouloumi, A.R. Vaezi, S.K. Alavipanah et al. // Science of the Total Environment. - 2020. – V. 721.
14. IBM SPSS Statistics. – Режим доступа https://www.ibm.com/docs/en/SSLVMB_27.0.0/pdf (Дата обращения: 01.03.2024)
15. QGIS, https://docs.qgis.org/3.22/ru/docs/user_manual/index.html (Дата обращения: 03.03.2024).

REFERENCES

1. Afanasyev, R.A. Methodology of field experiments on differentiated application of fertilizers in precision farming / R.A. Afanasyev // Problems of agrochemistry and ecology. – М.: – 2010. – № 1 - P. 38-44.
2. Dmitriev, E.A. Mathematical statistics in soil science: textbook / scientific. Ed. Yu.N. Blagoveshchensky, 3rd ed., rev. And additional – М.: Book house “LIBROKOM”, 2009. – 328 p.
3. Dukhanin, Yu.A. Information assessment of soil fertility / Yu.A. Dukhanin, V.I. Savich, B.N. Batanov, K.V. Savich. – М.: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2006. – 476 p.
4. Kidin, V.V. Workshop on agrochemistry / V.V. Kidin. - М.: Kolos, 2008. – 599 p.
5. Guidelines for conducting comprehensive monitoring of soils on agricultural lands. – М.: VNIIA – 2003. – 240 p.
6. Pivovarova, E.G. Modeling of spatial variation and temporal dynamics of agrochemical properties of soil / Experimental information in soil science: theory and ways of standardization. – М.: MSU, 2005. – P. 58-60.
7. Ryabtsova, S.A. Methodological guidelines for conducting agrochemical examination and analysis of long-term flooded soils / S.A. Ryabtsova, V.N. Chizhikov, T.N. Bochko, L.A. Shvydkaya. – Krasnodar, 2012. – 51 p.
8. Recommendations for the use of fertilizers for rice. Edited by E.P. Aleshina. – Майкоп, 1993. – 98 p.
9. Samsonova, V.P. Cartograms of soil properties for precision farming purposes / S.V. Zhelezova, E.V. Berezovsky // Problems of agrochemistry and ecology. – М. – 2010. - № 4. – P. 18-22.
10. Rice growing system of the Russian Federation / edited by. Ed. S.V Garkushi. – Krasnodar: Federal State Budgetary Institution “FSC of Rice”; Enlightenment-YUG, 2022. – 368 p.
11. Digital soil cartography: theoretical and experimental studies / Collection of articles. – М.: Soil Institute named after. V.V. Dokuchaeva, 2012. – 350 p.
12. Sheudzhen, A.Kh. Methods of agrochemical research and statistical assessment of their results: textbook. allowance. 2nd ed. reworked and additional / A.Kh. Sheudzhen, T.N. Bondareva. – Майкоп, OJSC “Poligraf-YUG”, 2015. – 661 p.
13. Fatholouloumi, S. Improved digital soil mapping whit multitemporal remotely sensed satellite data fusion: A case study in Iran / S. Fatholouloumi, A.R. Vaezi, S.K. Alavipanah et al. // Science of the Total Environment. - 2020. – V. 721.
14. IBM SPSS Statistics. – Режим доступа https://www.ibm.com/docs/en/SSLVMB_27.0.0/pdf (Дата обращения: 01.03.2024)
15. QGIS, https://docs.qgis.org/3.22/ru/docs/user_manual/index.html (Дата обращения: 03.03.2024).

Виталий Николаевич Чижиков

Ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения
E-mail: agrohim-vt@yandex.ru

Chizhikov Vitaliy Nikolaevich

Leading researcher of laboratory of agrochemistry and soil studies
E-mail: agrohim-vt@yandex.ru

Раис Саидович Шарифуллин

Старший научный сотрудник лаборатории агрохимии и почвоведения
E-mail: sharifullinrais@yandex.ru

Sharifullin RaisSaidovich

Senior scientist, laboratory of agrochemistry and soil studies
E-mail: Sharifullinrais@yandex.ru

Все: ФГБНУ «ФНЦ риса»
350921, Россия, Краснодар
Белозерный,3
E-mail: arri_kub@mail.ru

All: FSBSI “FSC of Rice”,
3, Belozerny, Krasnodar,
350921, Russia
E-mail: arri_kub@mail.ru

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-64-69
УДК 631.474

Нартымов Д.В.,
Слюсарев В.Н., д-р с.-х. наук, проф.
г. Краснодар, Россия

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ РИСОВЫХ СИСТЕМ

Исследовательская работа направлена на оценку эффективности внедрения и применения геоинформационных систем в области изучения почвенного плодородия в зоне рисосеяния Краснодарского края. Работа выполнена на основе большого количества данных, полученных при обработке результатов почвенного и агрохимического обследования и показывает широкий спектр возможностей использования современных алгоритмов обработки информации. В ходе исследовательской работы разработаны и опробованы методические подходы к получению растровых картографических материалов. Определён набор программных инструментов, позволяющих осуществить привязку полученных растровых материалов и провести векторизацию данных. Полученный в результате проведённой исследовательской работы композитный слой данных содержит информацию о типах почв и результатах агрохимического состояния этих почв в рамках последнего тура обследования. Это позволило провести статистический анализ набора данных с учётом географического положения участков земель сельскохозяйственных угодий. Статистический анализ показал, что содержание органического вещества в пахотном слое почв имеет ярко выраженную пространственную корреляцию с почвенным типом. Применяемые подходы показали высокую эффективность пространственной и статистической обработки данных в области изучения почвенного плодородия рисовых систем.

Ключевые слова: ГИС, геоинформационные системы, плодородие, алгоритмы.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF IMPLEMENTATION AND APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN THE FIELD OF STUDYING SOIL FERTILITY OF RICE SYSTEMS

The research work is aimed at assessing the effectiveness of the implementation and application of geographic information systems in the field of studying soil fertility in the rice growing zone of the Krasnodar Territory. The work was carried out on the basis of a large amount of data obtained from processing the results of soil and agrochemical surveys and shows a wide range of possibilities for using modern information processing algorithms. During the research work, methodological approaches to obtaining raster cartographic materials were developed and tested. A set of software tools has been defined that make it possible to link the resulting raster materials and vectorize the data. The composite data layer obtained as a result of the research work contains information about the types of soils and the results of the agrochemical state of these soils as part of the last round of the survey. This made it possible to carry out a statistical analysis of the data set, taking into account the geographical location of agricultural land plots. Statistical analysis showed that the content of organic matter in the arable soil layer has a pronounced spatial correlation with the soil type. The approaches used showed high efficiency of spatial and statistical data processing in the field of studying soil fertility of rice systems.

Key words: GIS, geoinformation systems, fertility, algorithms.

Введение

Развитие науки и технологий всегда расширяет инструментарий исследователей в различных областях человеческой деятельности, а рационализация подходов к решению фундаментальных и прикладных задач повышает значимость полученных результатов. В основе подобных решений сегодня лежит большой пласт достижений в сфере информационных технологий.

Современные алгоритмы и системы, работающие на высокопроизводительных программно-аппаратных комплексах, способны значительно упростить и ускорить обработку большого объёма информации. Такой подход открывает перед современным исследователем широкий горизонт

возможностей по повышению эффективности исследовательской работы [4].

Благодаря труду большого числа учёных России сегодня накоплен большой опыт в исследованиях плодородия почв, а мониторинг плодородия ведётся на государственном уровне, что указывает на чрезвычайную важность этой проблемы [7]. Собран большой объём данных о свойствах показателях плодородия почв, а почвоведение и агрохимические науки находятся в постоянном развитии. Поэтому современная проблематика в области плодородия почв требует внедрения более эффективных инструментов для решения задач.

Геоинформационные системы позволяют осуществить обработку большого количества дан-

ных на основе пространственной информации об объектах [4]. Такие системы широко применяют в различных областях наук: метеорологии, геологии, землеустройстве, экологии и других областях. Почвоведение, в том числе, базируется на картографии, а сегодня почвоведы активно используют геоинформационные системы (ГИС). Государственный мониторинг плодородия сегодня не обходится без специализированных геоинформационных систем.

Цель исследований

Оценить эффективность внедрения и применения геоинформационных систем в области изучения почвенного плодородия. Для достижения поставленных целей определен и решён ряд задач по изучению спектра инструментальных возможностей программно-системных решений и алгоритмов обработки пространственных данных, позволяющих вести обработку и анализ данных о плодородии почв рисовых систем. Подобраны и изучены операционные системы и программные библиотеки, включающие набор компонентов, позволяющих проводить эффективную обработку данных, в том числе и геоинформационных. Разработан ряд методологических подходов по векторизации растровых картографических материалов.

Материалы и методы

Для проведения исследовательских работ определен ряд подходов к формированию и анализу разноформатных данных. Применяемые подходы объединяет методология геопространственного анализа, основанная на использовании программно-технологических решений, позволяющих проводить исследования источников данных с нормализованной структурой атрибутов. Источником данных для проведения исследований могут служить матричные сетки, векторные объекты или таблицы. Матричные сетки образуют непрерывные

последовательности с атрибутивными ячейками, называемые растровыми данными или покрытиями. Векторные объекты содержат набор атрибутов, описывающих пространственное положение в определённой системе координат. Табличные данные – набор структурированных данных, позволяющих проводить их анализ, применяя специальные методы исследования.

Геоинформационные системы (ГИС) позволяют с разноформатными данными, объединенными определением и наличием их географической привязки. Такие системы способны анализировать растровую, векторную и табличную информацию в едином поле определённой системы координат [5]. Мощные вычислительные инструменты предоставляют исследователю широкий спектр возможностей по реализации аналитических задач, в том числе и статистических.

Исследовательские работы проведены в два этапа.

На первом этапе проведена подготовка и нормализация исходного материала.

Первый этап необходим для получения векторных данных, пригодных для геопространственной обработки и последующего анализа. Такими данными представлены результаты комплексного почвенного обследования и результаты комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. Исходным материалом результатов почвенного обследования являются сканируемые копии (изображения) материалов, изложенных на бумажных носителях (почвенные карты). Для получения таких изображений применяется сплошное сканирование носителей информации (растризация). Скан-копии, являющиеся источником растровой информации, не имеющим пространственной привязки, что обосновывает необходимость работ по привязке растров [1] (рис. 1).

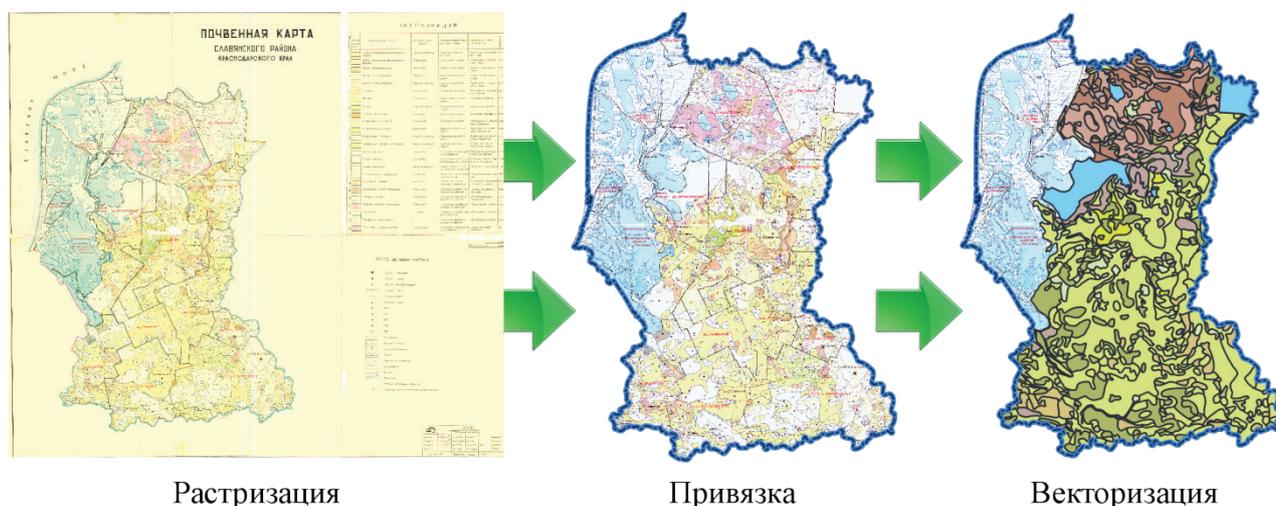


Рисунок 1. Последовательность работ по векторизации почвенной карты

Данные агрохимического обследования являются частью государственного мониторинга плодородия земель сельскохозяйственного назначения, выполняемого на базе Агрохимической службы России. Результаты периодического обследования земель аккумулируются в специализированной системе учёта данных, позволяющей эффективно осуществлять их сбор и обработку [6]. Система позволила получить необходимые агрохимические данные по каждому учетному участку с привязкой к их геопространственному положению.

Второй этап включал работы по согласованию, геообработке и анализу исходных данных. Методика предполагает получение композитных геопространственных данных почвенного обследования и показателей плодородия. Такой подход позволяет связать целевую информацию по геометрическому признаку и провести статистический анализ связанных данных. Результатом становится набор гео-

графических объектов, соответствующих участкам сельскохозяйственных угодий и содержащих данные о типе, подтипе, механическом составе и агрохимических показателях почв на этих участках [2].

Для обработки исходных данных и композитов используется пакет программного обеспечения QGIS (<https://qgis.org>), включающий набор решений для обработки и анализа геоинформационных данных [9]. Пакет базируется на платформе российской операционной системы ALTLinux [10]. Версия программного пакета QGIS 3.20.

При проведении работ по векторизации почвенной карты путём дешифровки растровых объектов (первый этап) были использованы стандартные модули оцифровки QGIS. При векторизации объектов почвенных разностей, осуществлялось внесение атрибутивной информации, включающей данные о типе, подтипе, механическом составе и засолении почв (рис. 2).

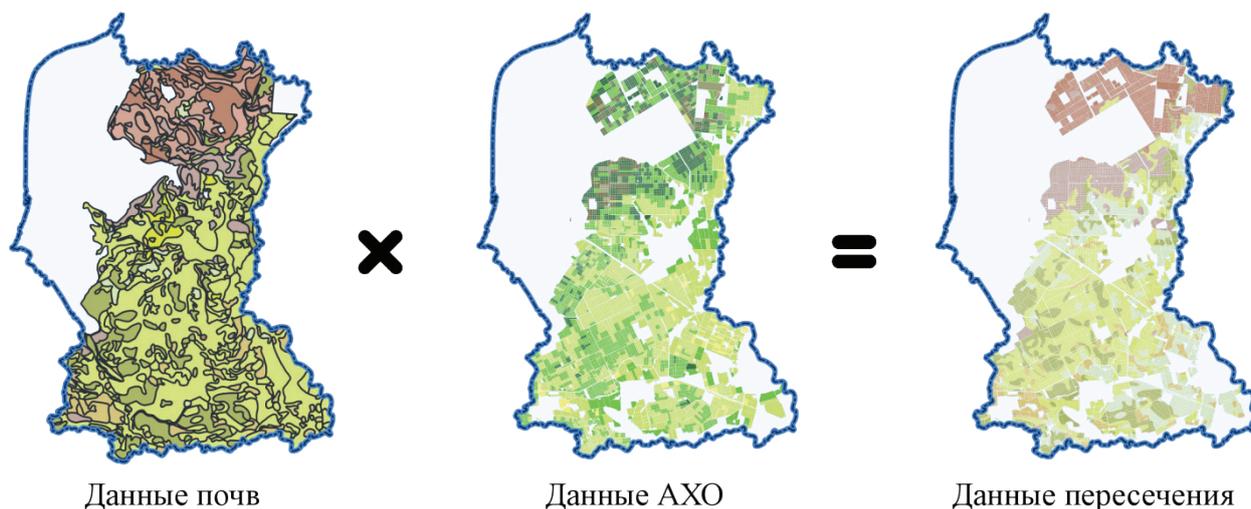


Рисунок 2. Схема получения композитных данных (результат пересечения)

На втором этапе работ композитный слой получен в результате обработки исходных нормализованных данных при помощи модуля геообработки инструментом «пересечение». Этот алгоритм извлекает перекрывающиеся части объектов исходного и наложенного слоев. Объектам результирующего слоя присваиваются атрибуты перекрывающихся объектов из обоих слоев. Кроме того, композитные данные были дополнены атрибутивной информацией о площади объектов, значение которой было рассчитано по их геометрии (геометрическая площадь).

Результаты и обсуждение

В рамках исследований разработана методика привязки сегмента растрового изображения. Методика включает в себя цветокоррекцию изображения, выделение целевого сегмента (сегментов), установление контрольных точек увязки и применение алгоритма геопривязки растрового сегмен-

та. Такой подход позволяет максимально выделить целевую информацию растрового изображения от сопутствующих атрибутов, которые могут быть внесены в связанные источники или мета-информацию раstra.

Геопривязка раstra дает возможность согласовать пространственное положение указанных на растре почвенной карты объектов с общей системой координат. Визуальная идентификация почвенных разностей позволяет провести векторизацию типов почв, результатом которой является набор векторных объектов, определяющих границы и атрибутивную информацию почвенных разностей (тип, подтип, механический состав почв и др.)

Композитные данные были подвергнуты аналитической обработке при помощи инструментов статистического анализа QGIS. В результате обработки получены гистограммы распределения площади встречающихся на исследуемой территории

типов почв (рис. 3 и 4) по градациям, определённым методическими указаниями [6]. При помощи градаций площадь участков группируется по значению показателя содержания органического вещества в пахотном слое почв: менее 2,0 % (очень низ-

кое), 2,1 – 3,0 % (низкое), 3,1 – 4,0 % (среднее), 4,1 – 5,0 % (повышенное), 5,1 – 6,1 % (высокое), более 6,1 % (очень высокое). Кроме того в таблице 1 представлены результаты статистической обработки композитных данных.

Таблица 1. Распределение площади Славянского района по типам почв

| Тип почвы | Площадь, га | Среднее значение, % | Стандартн. отклонение, % |
|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| Луговые | 31603,68 (33,7 %) | 3,5 | 0,7 |
| Аллювиально-луговые | 19437,92 (20,7 %) | 2,9 | 0,6 |
| Лугово-болотные | 15878,22 (16,9 %) | 3,2 | 0,6 |
| Лугово-чернозёмные | 6150,48 (6,6 %) | 2,9 | 0,8 |
| Торфяники | 12295,10 (13,1 %) | 4,2 | 1,1 |
| Перегноино-глеевые | 8475,05 (9,0%) | 4,3 | 0,9 |

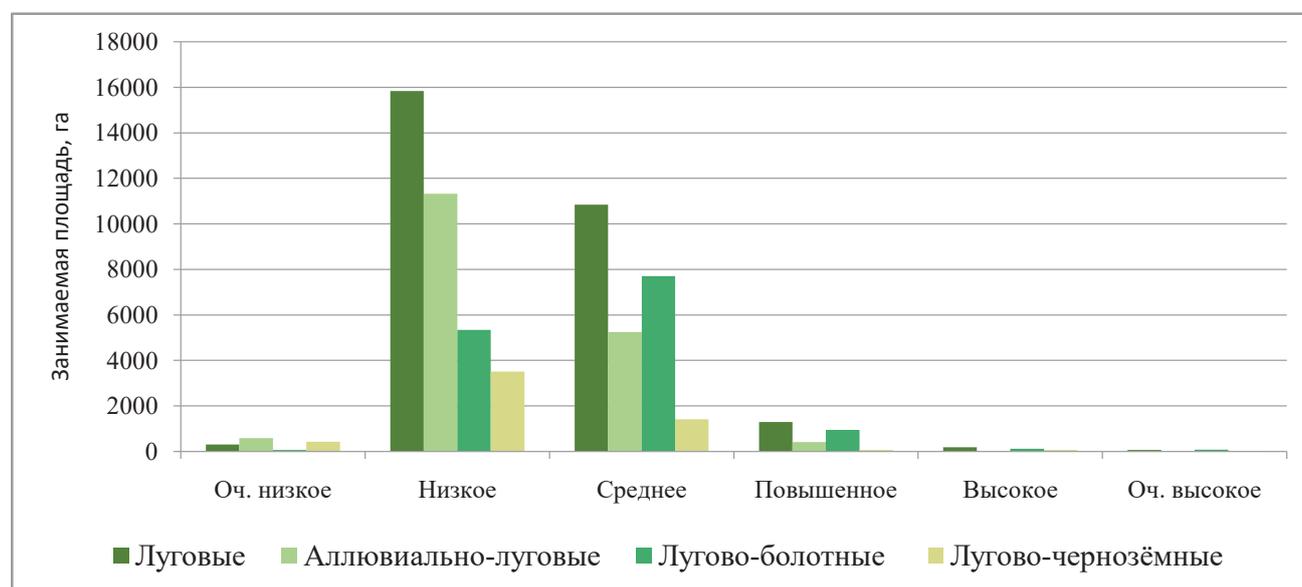


Рисунок 3. Гистограмма распределения площади по содержанию органического вещества в пахотном слое луговых, аллювиально-луговых, лугово-болотных и лугово-чернозёмных почв

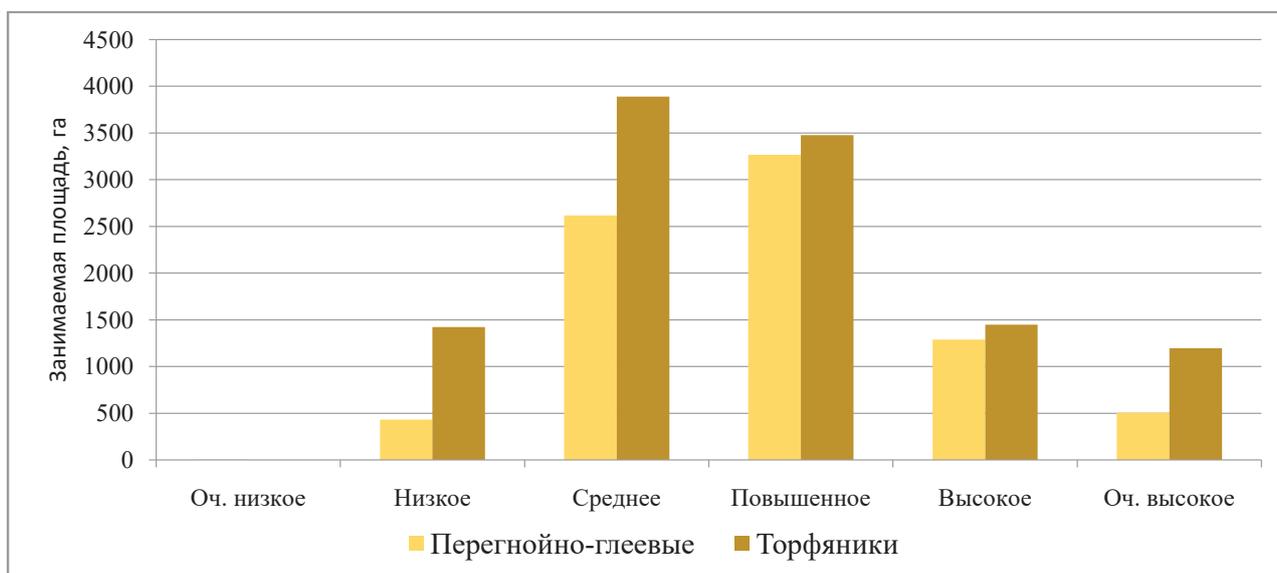


Рисунок 4. Гистограмма распределения площади по содержанию органического вещества в пахотном слое перегноино-глеевых почв и торфяников

Данные таблицы 1 показывают, что большую часть исследуемой территории занимают луговые и аллювиально-луговые почвы. Значительную часть площади занимают торфяники и перегнойно-глеевые почвы. Последние характеризуются наличием высокоорганизованного горизонта, что подтверждается визуальным анализом картограмм почв, где участки с высоким содержанием органического вещества обозначены темно-зелёным, коричневым и серым цветами, что соответствует содержанию более 4,1 % (рис. 2). Они занимают преимущественно северную часть исследуемой территории.

Согласно полученным гистограммам (рис. 3 и 4) большая часть площади торфяников и перегнойно-глеевых почв имеет показатель содержания органического вещества в средней и повышенной группе. При этом площадь остальных типов почв сконцентрирована в низкой и средней группе. Такое распределение площадей указывает на более высокое содержание органического вещества на почвах торфяников и пере-

гойно-глеевых типов.

Выводы

Проведённые исследования показали, что методики геоинформационной обработки данных позволяют проводить эффективный анализ разноформатной информации о землях сельскохозяйственного назначения, основанный на пространственной привязке. Атрибутивная информация, которая является неотъемлемой частью геоинформационных данных, значительно расширяет спектр исследовательских возможностей. Инструменты статистического анализа геоинформационных систем позволяют выявить и подтвердить закономерности распределения площади содержания органического вещества земельных угодий как на ограниченных, так и на достаточно больших территориях. Использование геоинформационных систем значительно сокращают трудозатраты и время на обработку данных, что положительно влияет на эффективность исследований в области изучения и мониторинга почвенного плодородия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белков, Д. Н. Метод оцифровки карты / Д. Н. Белков, И. В. Пономарев // МАК: Математики - Алтайскому краю. – 2021. – № 3. – С. 171-175. – EDN KTWWOE.
2. Борисов, Е. А. Геоинформационные системы в земледелии / Е. А. Борисов, Е. И. Миронов // Евразийское Научное Объединение. – 2019. – № 9-3(55). – С. 263-266. – EDN EVBDIG.
3. Бямба, О. Использование ДЗЗ и ГИС при создании географических основ для тематических карт / О. Бямба, Е. Л. Касьянова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2021. – Т. 26. – № 5. – С. 119-125. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125. – EDN BRFBYM.
4. Заносова, В. И. Методика оцифровки для создания тематических карт орошаемого массива / В. И. Заносова, Д. М. Гребенкина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 6(140). – С. 42-48. – EDN WDZEYB.
5. Янаева, М. В. Геоинформационные системы / М. В. Янаева, А. А. Семенов // Оригинальные исследования. – 2022. – Т. 12. – № 8. – С. 85-89. – EDN QCEAKF.
6. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, Утверждены Министром сельского хозяйства Российской Федерации А.В.Гордеевым 24 сентября 2003 г.
7. Приказ МСХ РФ от 4 мая 2010 г. № 150 «Об утверждении порядка государственного учёта показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения».
8. Modern information technologies in science and education / M. M. Amirov, M. M. Turganbekova, K. B. Myrzakhmet, A. B. Seythanova // Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 11-7(69). – P. 479-481. – EDN NVZXVX.
9. Интернет-ресурс: Пакет qgis3, <https://packages.altlinux.org/ru/p10/srpm/qgis3/>
10. Интернет-ресурс: ALTLinux, <https://www.altlinux.org/>

REFERENCES

1. Belkov, D. N. Method of map digitalization / D. N. Belkov, I. V. Ponomarev // MAC: Mathematics. – Altaysky kray. – 2021. – № 3. – P. 171-175. – EDN KTWWOE.
2. Borisov, E. A. Geoinformation systems in agriculture / E. A. Borisov, E. I. Mironov // Eurasian Scientific Association. – 2019. – № 9-3(55). – P. 263-266. – EDN EVBDIG.
3. Byamba, O. Using remote sensing and gis to create geographical bases for thematic maps / O. Byamba, E. L. Kasyanova // Siberian State University of Geosystems and Technologies. – 2021. – V. 26. – № 5. – P. 119-125. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-5-119-125. – EDN BRFBYM.
4. Zanosova, V. I. Digitization technique to compile thematic maps of irrigated land / V. I. Zanosova, D. M. Grebenkina // Altai State Agricultural University. – 2016. – № 6(140). – P. 42-48. – EDN WDZEYB.
5. Yanaeva, M. V. Geoinformation systems / M. V. Yanaeva, A. A. Semyonov // Kuban State Technological Institute. – 2022. – V. 12. – № 8. – С. 85-89. – EDN QCEAKF.
6. Methodological instructions for comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural land, Approved by the Minister of Agriculture of the Russian Federation A.V. Gordeev on September 24, 2003.
7. Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation dated May 4, 2010 № 150 «On approval of the procedure for state accounting of indicators of the state of fertility of agricultural lands».
8. Modern information technologies in science and education / M. M. Amirov, M. M. Turganbekova, K. B. Myrzakhmet, A. B. Seythanova // Eurasian Scientific Association. – 2020. – № 11-7(69). – P. 479-481. – EDN NVZXVX.
9. Internet: Package qgis3, <https://packages.altlinux.org/ru/p10/srpm/qgis3/>
10. Internet: ALTLinux, <https://www.altlinux.org/>

Дмитрий Владимирович Нартымов

Младший научный сотрудник лаборатории
информационных цифровых и биотехнологий
E-mail: dimnortey@mail.ru

ФГБНУ «ФНЦ риса»

350921, Россия, Краснодар, Белозёрный, 3
E-mail: arri_kub@mail.ru

Слюсарев Валерий Никифорович

Доцент кафедры почвоведения
E-mail: dimnortey@mail.ru

ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

350044, Краснодарский край,
город Краснодар, ул. им. Калинина, дом 13
E-mail: mail@kubsau.ru

Dmitry Vladimirovich Nartymov

Junior researcher at the laboratory of information,
digital and biotechnology
E-mail: dimnortey@mail.ru

FSBSI Federal Scientific Rice Centre

3, Belozerny, Krasnodar, 350921, Russia
E-mail: arri_kub@mail.ru

Valery Nikiforovich Slusarev

Associate Professor of the Department
of Soil Science
E-mail: dimnortey@mail.ru

Kuban State Agrarian University

named after I. T. Trubilin
13, Kalinina st., Krasnodar, 350044, Russia
E-mail: mail@kubsau.ru

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-70-75
УДК 633.18:632.952

Выборова Т. А.,
Лелявская В. Н.,
Безмутко С.В.

Приморский край, с. Камень-Рыболов, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТА ИМПАКТ СУПЕР В ОТНОШЕНИИ ПИРИКУЛЯРИОЗА РИСА

В статье представлены результаты исследования биологической эффективности фунгицида Импакт Супер, КС (225 г/л тебуконазола + 75 г/л флутриафола) против пирикуляриоза риса в условиях вегетационного опыта. Эксперимент проведен в 2021 году в Приморском крае и включал в себя двукратное применение фунгицида в нормах расхода 0,75 л/га и 0,9 л/га. В качестве эталонного препарата использовался Винтаж, МЭ (65 г/л дифеноконазола + 25 г/л флутриафола) в норме применения 1,0 л/га. Цель исследования заключалась в изучении биологической эффективности фунгицида Импакт Супер против пирикуляриоза, а также его влияние на структуру урожая и урожайность риса. Исследования проводили на восприимчивом к пирикуляриозу сорте Дальневосточный в условиях Приморского края. Для создания инфекционного фона использовали смесь изолятов потенциально опасных рас приморской популяции возбудителя пирикуляриоза, хранящихся в коллекции ДВНИИЗР. Установлено, что препарат Импакт Супер проявляет высокую биологическую активность (49,6-52,1 %) против *Pyricularia oryzae*, возрастающую при увеличении используемой дозировки. Применение экспериментального фунгицида стимулировало активный рост растений и повышение их продуктивности. Использование этого препарата в дозе 0,75-0,9 л/га по сравнению с контрольным вариантом привело к увеличению: высоты растений на 4,3-8,2 см, длины метелки на 1,9-2,0 см, количества выполненных зерен на 3,2-12,2 шт/растение, массы зерна на 0,07-0,21 г/растение, массы 1000 зерен на 1,27-1,44 г и, как следствие, достоверному увеличению урожайности зерна риса на 2,93-3,10 г на сосуд. Для защиты культуры от *Pyricularia oryzae* широко используются химические методы. Сегодня наиболее популярными являются высокоактивные системные фунгициды с длительным защитным действием, таким как у Импакт Супер, ввиду этого, данное исследование является актуальным.

Ключевые слова: рис, патоген, *Pyricularia oryzae*, фунгицид, эффективность, урожайность.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF IMPACT SUPER FUNGICIDE AGAINST RICE PYRICULARIASIS

The article presents the results of a study of the biological efficacy of the fungicide Impact Super, SC (225 g/l tebuconazole + 75 g/l flutriafol) against rice pyriculariasis, under conditions of vegetation experiments. The experiment was conducted in 2021 in the Primorsky Territory and included the double use of a fungicide at consumption rates of 0.75 l/ha and 0.9 l/ha. Vintage, muE (65 g/l difenoconazole + 25 g/l flutriafol) was used as a reference drugs at a rate of 1.0 l/ha. The aim of the study was to study the biological effectiveness of Impact Super fungicide against pyriculariasis, as well as its effect on the structure of the crop and the yield of rice. The research was carried out on the Far Eastern variety susceptible to pyriculariasis in the conditions of the Primorsky Territory. To create an infectious background, a mixture of isolates of potentially dangerous races of the primorsky population of the pyriculariasis pathogen stored in the DVNIIZR collection was used. According to the results of the tests, it was revealed that Impact Super has a high biological efficacy against the pathogen by 49.6% (0.75 l/ha) and 52.1% (0.9 l/ha). The use of an experimental fungicide stimulated the active growth of plants and increased their productivity. The use of this drug at a dose of 0.75-0.9 l/ha compared with the control variant led to an increase in: plant height by 4.3-8.2 cm, panicle length by 1.9-2.0 cm, the number of completed grains by 3.2-12.2 pcs/plant, grain weight by 0.07-0.21 g/plant, weight of 1000 grains by 1.27-1.44 g and, as a result, a significant increase in the yield of rice grains by 2.93-3.10 g per vessel. Chemical methods are widely used to protect crops from *Pyricularia oryzae*. Today, the most popular are highly active systemic fungicides with a long-term protective effect such as Impact Super. In view of this, this study is very important and relevant.

Key words: rice, pathogen, *Pyricularia oryzae*, fungicide, efficiency, yield.

Введение

Рис (*Oryza sativa*) - один из наиболее ценных пищевых продуктов для более чем половины населения мира. В настоящее время (2020-2022 гг.) посевы его размещены в 118 странах на площади

167 млн га, годовое производство зерна в мире составляет около 780 млн т [1, 10].

Получению высоких и устойчивых урожаев препятствуют биотические и абиотические факторы, в частности развитие комплекса вредоносных забо-

леваний [2]. Более 70 % заболеваний вызываются грибами, вирусами, бактериями и нематодами. Среди различных болезней риса пирикулярриоз является самым разрушительным заболеванием. Во всём мире это приводит к потере урожая на 10-80 %. Повреждение метелки приводит к частичной или полной потере полезных веществ в зернах риса [8, 14].

Пирикулярриоз – заболевание риса, вызываемое грибковым возбудителем, является серьёзным препятствием для производства риса на мировом уровне. Сообщения о нем поступили из более чем 80 стран [3, 12, 15]. Рис восприимчив к пирикулярриозу во все фазы вегетации. Болезнь поражает все надземные органы растения: листья, узлы стебли, метёлку [5]. Повреждение листьев и метелки указывает на то, что патоген вызывает повреждение как вегетативных, так и репродуктивных органов растений риса. В зависимости от местоположения и условий окружающей среды степень распространения болезни и тяжести ее протекания ежегодно меняются [11, 13].

Существует много методов борьбы с пирикулярриозом, включая агротехнические приемы, возделывание устойчивых сортов, использование фунгицидов и биологических агентов. Химический метод является одним из наиболее эффективных методов контроля данного заболевания. Он обеспечивает быстрое подавление распространения грибка и минимизацию ущерба для урожая, что имеет критическое значение для устойчивого развития рисоводства.

Цель исследования

Изучить эффективность фунгицида Импакт Супер против пирикулярриоза и определить его влияние на структуру урожая и урожайность риса.

Материалы и методы

В 2021 году в Дальневосточном НИИ защиты растений (ДВНИИЗР) в условиях вегетационного опыта проведена оценка эффективности фунгицида Импакт Супер, КС против пирикулярриоза риса. В состав препарата входят два действующих вещества: тебуконазол (225 г/л) и флутриафол (75 г/л). Препарат применяли в нормах 0,75 и 0,9 л/га. В качестве эталонного препарата использовался Винтаж, МЭ (действующее вещество 65 г/л дифеноконазола + 25 г/л флутриафола) в норме 1,0 л/га. Повторность опытов четырёхкратная. Расход рабочей жидкости 300 л/га.

В вегетационных условиях проведена оценка биологической эффективности препарата Импакт Супер против пирикулярриоза риса. Исследования проводили на восприимчивом к пирикулярриозу сорте Дальневосточный в условиях Приморского края [6, 7]. Посев риса проводили проросшими семенами в сосуды, наполненные смесью дерновой почвы с компостом (2:1). Сосуды устанавливали в поддоны с водой. В фазу 4-5 листьев растения риса иноку-

лировали суспензией конидий гриба. Для создания инфекционного фона использовали смесь изолятов потенциально опасных рас приморской популяции возбудителя пирикулярриоза, хранящихся в коллекции ДВНИИЗР. Инокуляцию растений патогеном проводили согласно методическим указаниям по оценке устойчивости сортов риса к возбудителю пирикулярриоза [9]. Фунгицидную обработку растений проводили через сутки после нанесения инокулята, а затем еще раз в фазу флагового листа. Спустя 10 дней после инокуляции, был проведён первый учёт уровня инфицирования риса грибом пирикулярриоза. Последующие учёты развития болезни вели еженедельно по девятибалльной шкале Международного института риса (IRRI), где 0 – поражение отсутствует; 1-3 балла – единичные коричневые точки; 5-6 баллов – типичные пятна пирикулярриоза, поражено от 10 до 25 % площади листа; 7-9 баллов – поражено от 50 до 90 % площади листа [9]. Уборку опытных растений (21 октября 2021 г.) проводили методом полного сбора растений из сосуда с последующим анализом снопового образца.

Экспериментальные результаты обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа [4].

Результаты и обсуждение

Изучаемый препарат Импакт Супер представляет собой двухкомпонентный системный фунгицид. В отличие от контактных препаратов, его действие не ограничено областью нанесения. Активные компоненты, проникая в ткани, равномерно распределяются по клеткам растения. Чем выше активность препарата и скорость его распространения по тканям, тем быстрее и качественнее уничтожается инфекция и вырабатывается иммунитет к патогену. Сбалансированная комбинация двух действующих компонентов гарантирует высокую эффективность препарата. Он обладает быстрым лечебным и продолжительным защитным эффектом. Важными достоинствами препарата Импакт Супер являются высокая скорость ликвидации инфекции благодаря быстрому проникновению к очагу заражения и продолжительность защитного действия благодаря медленной степени детоксикации в обрабатываемых тканях.

В ходе исследований было установлено, что применение фунгицида Импакт Супер снижает показатель площади под кривой развития болезни (далее ПКРБ), по сравнению с контрольным вариантом на 1937,4 усл. ед. (0,75 л/га) и 2034,6 усл. ед. (0,9 л/га), что указывает на существенное снижение развития болезни ($HCP_{05} = 452,5$ усл. ед.). Из этого следует, что препарат Импакт Супер в дозировках 0,75 и 0,9 л/га обладает высокой биологической эффективностью против пирикулярриоза риса. Результаты применения фунгицида Винтаж также свидетельствуют о значительном снижении процента заболевания (рис. 1).

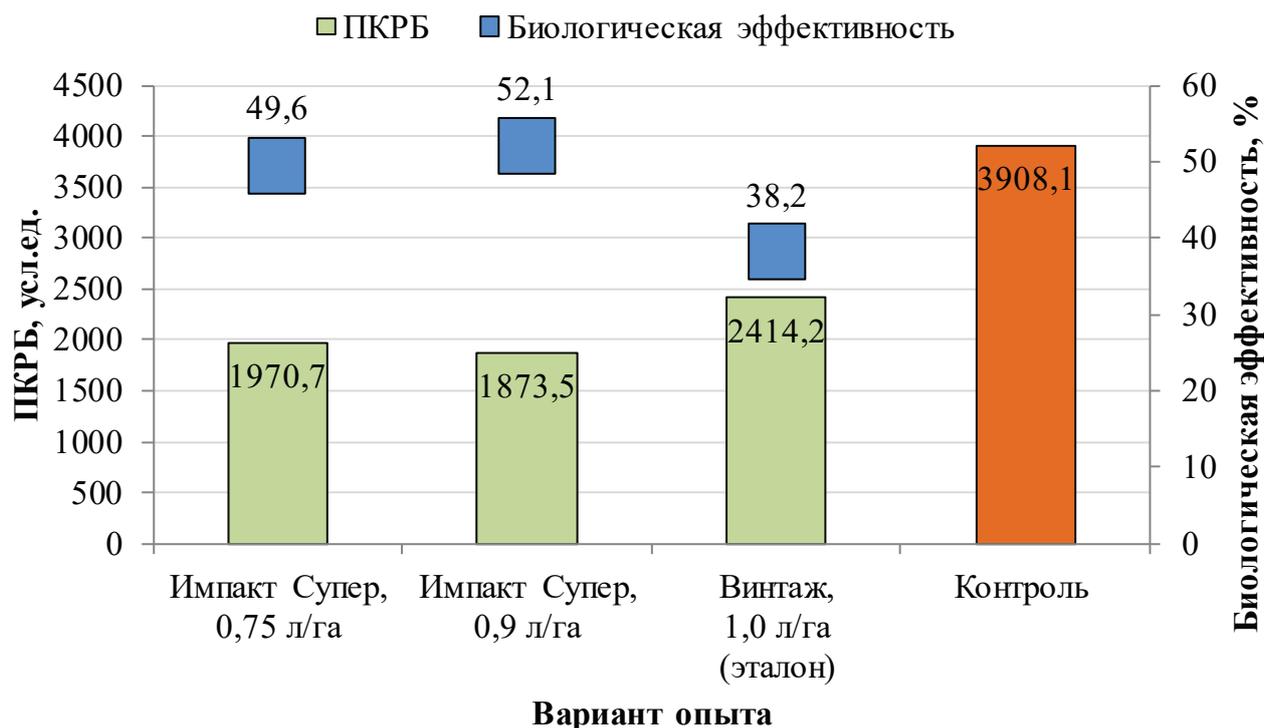


Рисунок 1. Площадь под кривой развития болезни и биологическая эффективность препаратов против пирикулярриоза риса (2021 г.)

Показатель ПКРБ отображает уровень вредности заболевания и темпы его распространения. Это можно представить как графическое изображение площади под кривой развития болезни в течение сезона вегетации. Увеличение значения данного показателя свидетельствует о более быстром развитии заболевания на данной культуре. Наивысшее значение инфицирования растений риса пирикулярриозом зафиксировано в контрольном варианте – 3908,1 усл.ед. Это говорит о том, что образец, не обработанный фунгицидами, был сильно подвержен заражению патогеном. Согласно результатам испытаний, препарат Импакт Супер имеет потенциал как высокоэффективное средство против данного заболевания. Опытный фунгицид способствовал существенному снижению интенсивности развития *P. oryzae*, биологическая эффективность при этом составила 49,6-52,1 %.

Пирикулярриоз риса является серьезным заболеванием, которое может существенно снизить урожайность этой культуры. Известно, что объемы урожая определяются целым рядом дополнительных показателей, одним из ключевых среди них является характеристика товарной части урожая. Анализ снопового материала показал положительное влияние опытного препарата на структурные компоненты продуктивности. В вариантах с применением Импакт Супер в норме расхода 0,9 л/га отмечено существенное увеличение высоты растений, относительно контроля на 8,2 см ($HCP_{05} = 5,9$ см). Обработка растений опытным препаратом

способствовала достоверному увеличению длины метёлки – 18,6 см (0,75 л/га) и 18,5 см (0,9 л/га), в сравнении с контрольным вариантом (16,6 см) ($HCP_{05} = 1,0$ см). Количество выполненных зёрен с одного растения в варианте Импакт Супер в максимальной дозировке, было значительно больше, чем в контроле на 12,2 шт. ($HCP_{05} = 11,3$ шт.). Опытный фунгицид в норме расхода 0,9 л/га в значительной степени, относительно контроля (20,0 шт.), способствовал уменьшению количества щуплых зёрен с одного растения до 11,0 шт. ($HCP_{05} = 8,5$ шт.). В вариантах с применением препарата Импакт Супер отмечена тенденция к увеличению массы зерна и соломы с одного растения, а так же массы 1000 зёрен, но отличия от контроля оказались не существенны. Применение эталонного препарата Винтаж привело к значительному увеличению массы зерна с одного растения на 0,32 г и массы 1000 зёрен на 2,40 г, относительно контроля (табл.).

Главным критерием оценки хозяйственной эффективности применения пестицидов является урожайность. В результате исследований при обработке риса препаратом Импакт Супер в разных нормах расхода, был сохранён урожай 20,27-20,44 г/сосуд и в стандартном варианте – 20,88 г/сосуд, при урожайности в контрольном варианте 17,34 г/сосуд. Прибавки урожая в обоих вариантах использования фунгицида были существенны ($HCP_{05} = 2,51$ г/сосуд). В стандартном варианте прибавка составила 3,54 г/сосуд (рис. 2).

Таблица. Влияние фунгицидов на элементы структуры урожая риса

| Показатель структуры урожая | Вариант опыта | | | | НСР ₀₅ |
|--|-------------------------|------------------------|---------------------------|----------|-------------------|
| | Импакт Супер, 0,75 л/га | Импакт Супер, 0,9 л/га | Винтаж, 1,0 л/га (эталон) | Контроль | |
| Высота растений, см | 100,1 | 104,0 | 100,9 | 95,8 | 5,9 |
| Длина метёлки, см | 18,6 | 18,5 | 17,5 | 16,6 | 1,0 |
| Количество выполненных зёрен с 1 растения, шт. | 51,5 | 60,5 | 50,3 | 48,3 | 11,3 |
| Количество щуплых зёрен с 1 растения, шт. | 14,3 | 11,0 | 13,0 | 20,0 | 8,5 |
| Масса соломы с 1 растения, г | 1,30 | 1,60 | 1,53 | 1,25 | 0,48 |
| Масса зерна с 1 растения, г | 1,50 | 1,64 | 1,75 | 1,43 | 0,26 |
| Масса 1000 зёрен, г | 22,80 | 22,97 | 23,93 | 21,53 | 2,38 |



Рисунок 2. Хозяйственная эффективность препарата Импакт Супер

Выводы

Установлено, что в агроклиматических условиях Приморского края применение фунгицида Импакт Супер в нормах расхода 0,75 и 0,9 л/га продемонстрировало высокую ингибирующую способность против *Rhizoctonia oryzae*, широко распространённого в крае. Препарат позволил практически полностью снизить инфекционную нагрузку болезни в рисовых посевах. Максимальная биологическая эффективность отмечалась при двукратной обработке растений риса с нормой расхода фунгицида 0,9 л/га. Использование опытного препарата способствует увеличению урожайности, что связано с улучшением структурных показателей урожая. В вариантах опыта

с двукратной обработкой посевов препаратом в нормах дозирования 0,75 и 0,9 л/га наблюдалось существенное увеличение урожайности относительно контрольного варианта на 2,93-3,1 г/сосуд, соответственно.

Результаты исследования демонстрируют, что фунгицид Импакт Супер является эффективным средством против пирикулярриоза риса и может быть рекомендован для применения в сельскохозяйственной практике. Данные исследования могут быть использованы при разработке рекомендаций по применению исследуемого фунгицида в рисоводческих хозяйствах Приморского края с целью повышения урожайности и улучшения качества продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багиров, В.А. Система рисоводства Российской Федерации / под общ. ред. С.В. Гаркуши / В.А. Багиров, И.В. Баясний, И.Е. Белоусов [и др.]. – Краснодар: ФГБНУ «ФНЦ риса», Просвещение-Юг, 2022. – 368 с.
2. Брагина, О.А. Эффективность применения биологических фунгицидов в борьбе с пирикулярриозом риса / О.А. Брагина, И.А. Лыско, Е.С. Сегада, Т.А. Егорова, Д.Г. Решетько // Рисоводство. – 2023. – №4(61). – С.16-21. DOI: 10.33775/1684-2464-2023-61-4-16-21
3. Брагина, О.А. Результаты демонстрационных испытаний фунгицида Амистар Топ при защите риса от пирикулярриоза / О.А. Брагина, А.М. Оглы, Д.Ю. Бородин // Рисоводство. – 2022. – №1(54). – С.41-45. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-54-1-41-45
4. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. (С основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Колос, 1979. – 416 с.
5. Дубина, Е. В. Изучение биоразнообразия *Pyricularia oryzae* Cav. в рисосеющих зонах юга России на основе метода ПЦР/ Е. В. Дубина, М. Г. Рубан, Ю. В. Анискина, И. А. Шилов, Н. С. Велишаева, П. И. Костылев, Ю. А. Макуха, Д. А. Пшениченко // Достижения науки и техники АПК. – 2018.–Т. 32. – № 10.– С. 19-23. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11004
6. Илюшко М. В. Продуктивность и устойчивость к пирикулярриозу андрогенных удвоенных гаплоидов риса *Oryza sativa* L./ Илюшко М. В., Гученко С. С., Лелявская В. Н., Выборова Т. А., Ромашова М. В. // Зерновое хозяйство России. – 2023. – Т. 15. – № 1. – С. 5-11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-5-11
7. Ковалевская В.А. Устойчивость риса к пирикулярриозу в Приморском крае/ Ковалевская В.А., Лелявская В.Н., Ковалева, А.А. // Защита и карантин растений. – 2013. – № 5. – С. 24-26.
8. Мынбаева, Д.О. Пирикулярриоз риса и методы борьбы / Д.О. Мынбаева, Б.Н. Усенбеков, А.К. Амирова, Ж.К. Жунусбаева // Вестник Карагандинского университета. Серия «Биология. Медицина. География». – 2023.– №1(109). – С.98-109. DOI:10.31489/2023BMG1/98-109
9. Методические указания по оценке устойчивости сортов риса к возбудителю пирикулярриоза / Е.Д. Коваленко, Ю.В. Горбунова, А.А. Ковалева [и др.] / – М., 1988. – 31 с.
10. Скаженник, М.А. Формирование урожайности сортов риса и элементов её структуры / М.А. Скаженник, В.С. Ковалев, А.О. Григорьев, Т.С. Пшеницына // Рисоводство. – 2023. – № 2(59). – С.19-24. DOI:10.33775/1684-2464-2023-59-2-19-24
11. Barnwal, M.K. Field evaluation of rice genotypes for resistance and new fungicides for control of blast (*Pyricularia oryzae*) / M.K. Barnwal, V.K. Singh, R.B. Sharma, B.N. Singh // Ind. Phytopathol. – 2012. – Vol. 65(1). – P. 56-59.
12. CAB International. CAB Invasive Species Compendium: Magnaporthe oryzae (rice blast disease) / Wallingford, UK: CAB International, 2018. Available online at: www.cabi.org/isc. Simkhada, K. Rice blast, a major threat to the rice production and its various management techniques / K. Simkhada, R. Thapa // Book Chapt. 2021. – № 21. – P. 524-539.
13. Chen, H.L. Pathotypes of *Magnaporthe oryzae* in rice fields of central and southern China / H.L. Chen, B.T. Chen, D.P. Zhang, Y.F. Xie, Q. Zhang // Plant Disease. – 2001. – Vol. 85 – P. 843-850.
14. FAO Cereal Supply and Demand Brief [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.fao.org/world-foodsituation/csdb/ru/>
15. Swodesh, R. A. Review On Various Management Method Of Rice Blast Disease / R. Swodesh, D. Yuvraj // Malaysian J. Sustain. Agric. – 2020. – N4(1). – P. 29-33.

REFERENCES

1. Bagirov, V.A. Rice-growing system of the Russian Federation / pod obshch. red. S.V. Garkushi / V.A. Bagirov, I.V. Balyasnyj, I.E. Belousov [i dr.]. – Krasnodar: FGBNU «FNC risa», Prosveshchenie-Yug, 2022. – 368 p.
2. Bragina, O.A. The effectiveness of the use of biological fungicides in the fight against rice pyriculariasis / O.A. Bragina, I.A. Lysko, E.S. Segeda, T.A. Egorova, D.G. Reshet'ko // Rice growing. – 2023. – №4(61). – P.16-21. DOI: 10.33775/1684-2464-2023-61-4-16-21
3. Bragina, O.A. Results of amistar top demonstration tests for rice protection against pyriculariasis/ O.A. Bragina, A.M. Ogly, D.Yu. Borodin // Rice growing. – 2022. – №1(54). – P. 41-45. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-54-1-41-45
4. Dospikhov, B.A. The methodology of field experience. (With the basics of statistical processing of research results). – М.: Kolos, 1979. – 416 p.
5. Dubina, E. V. Study of Biodiversity of *Pyricularia oryzae* Cav. by PCR-method in the Rice-Growing Areas in the South of Russia / E. V. Dubina, M. G. Ruban, Yu. V. Aniskina, I. A. Shilov, N. S. Velishaeva, P. I. Kostylev, Yu. A. Makuha, D. A. Pishchenko // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2018. – V. 32. – № 10. – P. 19-23. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11004
6. Ilyushko M. V. Productivity and blast resistance of the androgenic doubled rice haploids *Oryza Sativa* L./ Ilyushko M. V., Guchenko S. S., Lelyavskaya V. N., Vyborova T. A., Romashova M. V. // Zernovoye khozyaystvo Rossii. – 2023.– Т. 15. – № 1. – P. 5-11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-5-11
7. Kovalevskaya V.A. Resistance of rice to blast disease in the Primorsky Territory/ Kovalevskaya V.A., Lelyavskaya V.N., Kovaleva, A.A. // Zashchita i karantin rasteniy. – 2013. – № 5. – P. 24-26.
8. Mynbaeva, D.O. Rice blast and control methods/ D.O. Mynbaeva, B.N. Usenbekov, A.K. Amirova, Zh.K. Zhunusbaeva // Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Medicina. Geografiya». – 2023.– №1(109). – P. 98-109. DOI:10.31489/2023BMG1/98-109
9. Methodological guidelines for assessing the resistance of rice varieties to the causative agent of pyriculariasis / E.D. Kovalenko, Yu.V. Gorbunova, A.A. Kovaleva [et al.] / – М., 1988. – 31 p.
10. Skazhennik, M.A. Formation of yield of rice varieties and elements of its structure / M.A. Skazhennik, V.S. Kovalev, A.O. Grigor'ev, T.S. Pshenicyna // Rice growing. – 2023. – №2(59). – P. 19-24. DOI:10.33775/1684-2464-2023-59-2-19-24
11. Barnwal, M.K. Field evaluation of rice genotypes for resistance and new fungicides for control of blast (*Pyricularia oryzae*) / M.K. Barnwal, V.K. Singh, R.B. Sharma, B.N. Singh // Ind. Phytopathol. – 2012. – Vol. 65(1). – P. 56-59.

12. CABI Invasive Species Compendium: Magnaportheorzyae (rice blast disease) / Wallingford, UK: CAB International, 2018. Available online at: www.cabi.org/isc. Simkhada, K. Rice blast, a major threat to the rice production and its various management techniques / K. Simkhada, R. Thapa // Book Chapt. 2021. – № 21. – P. 524-539.
13. Chen, H.L. Pathotypes of Magnaporthe oryzae in rice fields of central and southern China / H.L. Chen, B.T. Chen, D.P. Zhang, Y.F. Xie, Q. Zhang // Plant Disease. – 2001. – Vol. 85 – P. 843–850.
14. FAO Cereal Supply and Demand Brief [Elektronnyj resurs]. — Rezhim dostupa: <https://www.fao.org/worldfood-situation/csdb/ru/>
15. Swodesh, R. A. Review On Various Management Method Of Rice Blast Disease / R. Swodesh, D. Yuvraj // Malaysian J. Sustain. Agric. – 2020. – N4(1). – P. 29-33.

Татьяна Алексеевна Выборова

Младший научный сотрудник лаборатории фитопатологии
E-mail: tataop18@gmail.com
dalniizr@mail.ru

Tatyana Alekseevna Vyborova

Junior reseacher of the Phytopatology Laboratory
E-mail: tataop18@gmail.com
dalniizr@mail.ru

Валентина Николаевна Лелявская

Младший научный сотрудник лаборатории фитопатологии
E-mail: dalniizr@mail.ru

Valentina Nikolaevna Lelyavskaya

Junior reseacher of the Phytopatology Laboratory
E-mail: dalniizr@mail.ru

Светлана Владимировна Безмутко

Научный сотрудник лаборатории фитопатологии
E-mail: gsv709@mail.ru
dalniizr@mail.ru

Vladimirovna Bezmutko Svetlana

Reseaecher of the Phytopatology Laboratory
E-mail: gsv709@mail.ru
dalniizr@mail.ru

Все: ДВНИИЗР – филиал «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки»
692684, Приморский край, с. Камень-Рыболов, ул. Мира, 42а

All: Far Eastern Research Institute of Plant Protection – Branch of «Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology of the Far East named A.K. Chaika»
42a, Myra st., Kamen-Rybolov, Primorsky krai, 692684, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-76-84
УДК 004.89:635.1:631.676

Меньших А.М., канд. с.-х. наук,
Федосов А.Ю.,
Янченко В.А.,
Фартуков В.А., канд. техн. наук,
Иванова М.И. д-р с.-х. наук, проф. РАН
г. Москва, Россия

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОЛИВА: ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ОВОЩЕВОДСТВЕ

Разработка и внедрение элементов системы точного земледелия является актуальной задачей в сельском хозяйстве Российской Федерации. Необходимо импортозамещение и построение собственной отечественной программной и элементной базы устройств. Цель исследований – испытать на орошаемых почвах поймы р. Москва автоматизированную интеллектуальную систему полива AIST и определить экономию воды при её использовании в агротехнологии лука репчатого в однолетней культуре. Платформа IoT используется для сбора и агрегирования данных о почве и погоде, расчета потребностей в воде и отправки предписаний по орошению в ирригационную систему. Это исследование расширяет использование платформы Интернета вещей, способной в режиме реального времени отслеживать и управлять окружающей средой фермы и ирригационной системой. Поведение ирригационной системы имитируется в программном обеспечении для моделирования растений, чтобы подтвердить связь между платформой и ирригационной системой, которая будет внедрена на реальных полевых условиях. Использование дифференцированного полива автоматизированной интеллектуальной системой AIST положительно отразилось на густоте стояния растений лука репчатого в однолетней культуре к уборке, размерно-весовых показателей луковицы, и в конечном итоге дало существенную прибавку урожайности (4,5 т/га) при экономии воды 31,4 %. Основной вклад этой работы заключается в проверке системы, способной контролировать окружающую среду фермы, а также осуществлять мониторинг и управление ирригационной системой. Решение, описанное в этой статье, представляет собой замкнутую систему мониторинга и управления орошением на основе данных о погоде и почве.

Ключевые слова: точное земледелие, орошение, автоматизированное управление, оросительные системы, овощеводство.

INTELLIGENT IRRIGATION SYSTEM: DIGITAL SOLUTIONS IN VEGETABLE GROWING

The development and implementation of precision farming system elements is an urgent task in the agriculture of the Russian Federation. It is necessary to import substitution and build our own domestic software and hardware base of devices. The purpose of the research is to test the automated intelligent irrigation system AIST on irrigated soils of the Moscow River floodplain and determine the water savings when using it in the agrotechnology of onions in an annual crop. The IoT platform is used to collect and aggregate soil and weather data, calculate water needs, and send irrigation prescriptions to the irrigation system. This research expands the use of an Internet of Things platform capable of real-time monitoring and management of the farm environment and irrigation system. The behavior of the irrigation system is simulated in plant simulation software to confirm the connection between the platform and the irrigation system, which will be implemented in real field conditions. The use of differentiated irrigation by the automated intelligent AIST system had a positive effect on the density of standing onion plants in an annual crop for harvesting, the size and weight of the bulb, and ultimately gave a significant increase in yield (4.5 t /ha) with a water saving of 31.4%. The main contribution of this work is to verify a system capable of controlling the farm's environment, as well as monitoring and managing the irrigation system. The solution presented in this article is a closed-loop irrigation monitoring and management system based on weather and soil data.

Key words: precision farming, irrigation, automated control, irrigation systems, vegetable growing.

Введение

По прогнозам FAO к 2050 году население мира составит около 9,1 миллиарда человек, что значительно увеличит и без того высокий мировой спрос на продовольствие. Ожидается, что в ближайшие годы производство продуктов питания во всем мире увеличится на 70 %, а если рассматривать только развивающиеся страны, то оно может увеличиться до 100 % [10]. В настоящее время 70 %

пресной воды, добываемой из водоносных горизонтов, ручьев и озер, используется для орошения сельскохозяйственных культур, и этот процент необходимо будет увеличить, чтобы поддержать ожидаемый рост производства продуктов питания [9].

Истощение земель, нехватка доступной воды и сокращение биоразнообразия в сочетании с изменением климата уже замедляют рост произво-

дительности сельского хозяйства, вызывая опасения, что в будущем производительность сельского хозяйства будет недостаточной для удовлетворения глобального спроса на продовольствие [13]. В этом контексте доступность расширенных технологических возможностей стимулирует переход к более интеллектуальным сельскохозяйственным системам, которые при внедрении помогают улучшить качество и количество продуктов питания, одновременно оптимизируя использование ресурсов, необходимых для их производства [7, 17]. Это может быть правильным способом смягчения прогнозируемого будущего продовольственного кризиса.

Мир переходит от аналоговых технологий к цифровым, от ручных процессов к автоматизированным. Это происходит из-за очевидных эффектов научных гипотез. Некоторые технологии, которые нашли применение в сельском хозяйстве – это Интернет вещей [11], Большие данные [21], киберфизическая система [5] и цифровой двойник [6]. Эти технологии используются в сельском хозяйстве для повышения производительности, сокращения использования ресурсов, таких как вода и энергия, и повышения качества продукции.

Орошение – это сельскохозяйственный процесс, который получает непосредственную выгоду от контекста «умного» земледелия. Стратегии «умного» орошения можно разделить на стратегии мониторинга и контроля (управления). Стратегии мониторинга заключаются в мониторинге погоды, параметров почвы и растений. Стратегии управления состоят из методов разомкнутого и замкнутого контура. Разработка системы мониторинга и контроля в режиме реального времени, основанной на характеристиках погоды, почвы и сельскохозяйственных культур, в том числе и овощных, может повысить эффективность использования воды [2, 3, 20].

В ряде исследований зарубежные ученые оценивали автоматизированное орошение на основе показаний влажности почвы для повышения эффективности использования воды при капельном орошении для овощных культур. Автоматические контроллеры, использованные в этих исследованиях, орошали посевы в течение короткого времени несколько раз в день, когда почва высыхала ниже заданного порогового значения [14]. В некоторых системах управления используют тензиометры, в то время как в других – емкостные датчики влажности почвы для определения момента полива [15, 22]. Использование радиоволновых датчиков влажности почвы TDR (Time Domain Reflectometry) для запуска поливов на кукурузе привело к экономии воды на 11 % при аналогичных урожаях по сравнению со стандартным дождеванием [8]. Испытания на небольших участках продемонстрировали экономию воды, снижение вымывания нитратов и

повышение урожайности томата, перца сладкого и кабачка при капельном орошении с использованием емкостных датчиков влажности почвы для запуска полива [22]. Большая экономия воды была на ранних стадиях выращивания, когда уровень эвапотранспирации был низким. Емкостные датчики влажности почвы в целом оказались более надежными для автоматизированного планирования полива, чем тензиометры.

Несмотря на то, что достигнут значительный прогресс в повышении точности и полезности современных датчиков влажности почвы, несколько факторов по-прежнему ограничивают их использование для планирования полива овощных культур. Сегодня затраты на отдельные датчики меньше, чем в прошлом, но добавление регистраторов данных, модемов сотовых телефонов и радиосвязи, облачных сервисов, которые облегчают мониторинг в реальном времени, увеличило общие затраты. Стоимость работ по установке и снятию датчиков высокая, особенно при выращивании овощных культур с короткими производственными циклами, поэтому многие производители используют оборудование для мониторинга влажности почвы на небольшом проценте своих полей. Датчики влажности почвы полезны для определения того, когда поливать овощные культуры, но они менее полезны для оценки того, сколько воды следует подать. Показания влажности почвы должны быть преобразованы в объемную влажность, чтобы оценить истощение почвенной влаги после предыдущего полива или дождя. Многие датчики влажности почвы нуждаются в частой калибровке. Большинство емкостных датчиков используют калибровочные уравнения производителя для преобразования показаний в объемное содержание воды. Точность емкостных датчиков может зависеть от таких свойств почвы, как содержание глины, органических веществ, солёности, объёмной массы почвы и температуры [16]. Влияние этих факторов на показания содержания воды может различаться в зависимости от типа почвы. Например, Kargas и Soulis (2012) оценили точность емкостного датчика 10HS и обнаружили, что температура оказывает большее влияние на показания содержания влаги в глине, чем в грунтах с рельефной текстурой [12]. Они пришли к выводу, что для получения точных показаний необходима калибровка для конкретных типов почвы. Даже с точными датчиками пространственная изменчивость может ограничить надежность оценок влажности почвы, если показания собираются только из нескольких мест, особенно если гидравлические свойства почвы меняются в пределах поля или ирригационная система применяет воду неравномерно.

Карты почвы могут быть полезны при размещении датчиков влажности почвы в местах, ко-

торые отражают доминирующие свойства почвы на полях. Особенно сложной задачей может быть определение оптимального местоположения для точного мониторинга увлажнения почвы на полях с капельным орошением. Влажность почвы под капельной лентой обычно выше, чем рядом с растениями, где сосредоточена активность корней. Размещение датчиков слишком близко к капельной линии может привести к недостаточному поливу культуры, а размещение датчиков слишком далеко – к чрезмерному поливу [18].

С помощью экспериментов по компьютерному моделированию Soulis et al. (2015) пришли к выводу, что оптимальное расположение датчиков влажности почвы при капельном орошении зависит от гидравлических свойств почвы, скорости эвапотранспирации сельскохозяйственных культур и конфигурации ирригационной системы [19].

В будущем, ожидается, что Большие данные окажут огромное влияние на «умное» фермерство и затронут всю цепочку поставок. Интеллектуальные датчики и устройства обрабатывают большие объемы данных, которые обеспечивают беспрецедентные возможности для принятия решений. Ожидается, что Большие данные приведут к серьезным изменениям в ролях и соотношении сил между традиционными и нетрадиционными игроками. Управление (включая владение данными, конфиденциальность, безопасность) и бизнес-модели являются ключевыми вопросами, требующими изучения в рамках будущих исследований.

В настоящее время широко развиваются решения на базе искусственного интеллекта по программам выращивания и для прогнозирования продуктивности и качества культур в сельском хозяйстве, но интеллектуальные советующие системы не могут функционировать без сбора анализируемых параметров. Разработка и внедрение элементов системы точного земледелия является актуальной задачей в сельском хозяйстве Российской Федерации, необходимо импортозамещение и построение собственной отечественной программной и элементной базы устройств.

В этом исследовании представлена связь платформы Интернета вещей в реальном времени с программным обеспечением моделирования ирригационной системы в агротехнологии овощных культур.

Цель исследований

Испытать на орошаемых почвах поймы р. Москвы автоматизированную интеллектуальную систему полива AIST и определить экономию воды при её использовании в агротехнологии лука репчатого в однолетней культуре.

Материалы и методы

Проведенные в 2019-2023 годах испытания автоматизированной интеллектуальной системы полива AIST (ООО «Адаптивные инновационно-ин-

теллектуальные технологии», Россия) во ВНИИО – филиале ФГБНУ ФНЦО (Московская область, Раменский г.о., среднесуглинистые аллювиальные луговые почвы Москворецкой поймы) показали её дифференцированную, адресную и точечную подачу воды на поле с помощью системы капельного орошения в соответствии с заданной картой полива в необходимых объемах и в необходимое время. Эта технология была применена при поливе капусты, томата, перца сладкого, чеснока, лука репчатого и может быть применима для других овощных культур в открытом грунте (рис. 1).

По природно-мелиоративному районированию место исследований находится в юго-восточной части Московской области и имеет умеренно-континентальный климат, характеризующийся теплым летом и умеренно-холодной зимой. Средняя продолжительность безморозного периода 136 дней, среднегодовая температура воздуха 3,8°C. Весной переход среднесуточной температуры через 0°C наступает 3 апреля. Сумма температур выше 0°C составляет 2470, сумма эффективных температур (выше 5°C) – 2365, сумма активных температур (выше 10°C) – 2055. Период с температурой воздуха более 0°C составляет 214 дней, более 5°C – 175 дней, более 10°C – 135 дней. Сумма часов солнечного сияния за год составляет 1574.

Результаты и обсуждение

Для адаптации системы интеллектуального полива к полевым условиям были проведены работы по установке модулей:

- определение мест установки датчиков влажности на полях полива и вне зоны полива;
- определение мест монтажа энергонезависимых моторизованных кранов и исполнительных устройств на оросительной системе полей;
- определение места расположения центрального блока управления и подсоединение его к электроснабжению 220 вольт;
- инсталляция программы управления модулями системы в центральном блоке управления, подключение к сети GSM, настройка системы по каналу связи протокола Wi-Fi;
- тестирование системы.

Программные настройки включали в себя следующие этапы:

- предварительная настройка системы;
- встроенное программное обеспечение центрального блока;
- установление необходимых диапазонов изменения влажности на контролируемой глубине почвы для поливаемых растений;
- настройка представления данных по влажности и температуре на экране смартфона, планшета по каналу связи Wi-Fi и для удаленного управления офисными компьютерами по каналу GSM (сотовая связь);



Рисунок 1. Работа автоматизированной системы управления поливом AIST на посевах лука репчатого в однолетней культуре

- тестирование прохождения радиосигналов команд управления исполнительными модулями и получения данных от датчиков с трех уровней по глубине, температуры почвы на поверхности и на глубине, напряжения питания модулей системы, электропитание исполнительных управляемых кранов;

- подключение резервного питания основного блока управления для хранения получаемых данных.

Основная масса корней лука репчатого в период наибольшего роста размещается в пределах пахотного слоя, поэтому оптимальные условия для роста и развития растений нужно создавать в 20-30-сантиметровом слое почвы. В Нечерноземной зоне лук репчатый поливают небольшими нормами (200 м³/га) с интервалом 20-25 дней. В сухую и теплую погоду межполивной период сокращается до 12-15 дней.

Для получения высокого урожая лука репчатого запасы влаги в почве в первый период вегетации должны быть повышенными (не ниже 80 % ППВ), во второй период в южных районах также повышенными, а во влажных – умеренными (70 % ППВ). Если продукция предназначена для употребления в свежем виде, для переработки или непродолжительного хранения, в начале полегания листьев полив вообще прекращают. Если же продукция предназначена для продолжительного хранения, то во второй период вегетации запасы влаги должны быть умеренными (70 % ППВ), а поливы нужно прекращать за 2 недели до начала полегания листьев. Таким образом, в зависимости от назначения продукции и зоны, уровень увлажнения при орошении

лука репчатого должен быть 80; 80; 70 или 80; 70; 70 (60 % ППВ).

Существенное влияние на лежкость и качество продукции оказывают погодные условия, складывающиеся в период созревания и уборки урожая (в августе). Отмечено, что с увеличением уровня увлажнения почвы при орошении отрицательное влияние этих факторов усиливается.

Таблица 1. Число и нормы полива в течение вегетации лука репчатого в однолетней культуре (в ручном режиме)

| № п.п. | Дата | Норма, м ³ /га |
|--------|------------|---------------------------|
| 1 | 28.04.2023 | 80 |
| 2 | 05.05.2023 | 130 |
| 3 | 13.05.2023 | 100 |
| 4 | 16.05.2023 | 70 |
| 5 | 17.05.2023 | 90 |
| 6 | 26.05.2023 | 120 |
| 7 | 06.06.2023 | 140 |
| 8 | 07.06.2023 | 110 |
| 9 | 13.06.2023 | 20 |
| 10 | 15.06.2023 | 20 |
| 11 | 19.06.2023 | 110 |
| 12 | 21.06.2023 | 140 |
| 13 | 10.07.2023 | 60 |
| 14 | 21.07.2023 | 90 |
| 15 | 02.08.2023 | 90 |
| ИТОГО: | | 1370 |

Лук репчатый во влажной и избыточно-влажной зонах поливают 1-3 раза, в лесостепи и Центрально-Черноземной зоне 4-8 раз, на юго-востоке при

поливе дождеванием до 12 раз.

В условиях опыта поливали растения 15 раз через капельный полив нормой 1370 м³/га (табл. 1, рис. 2).

Поливы, м³/га

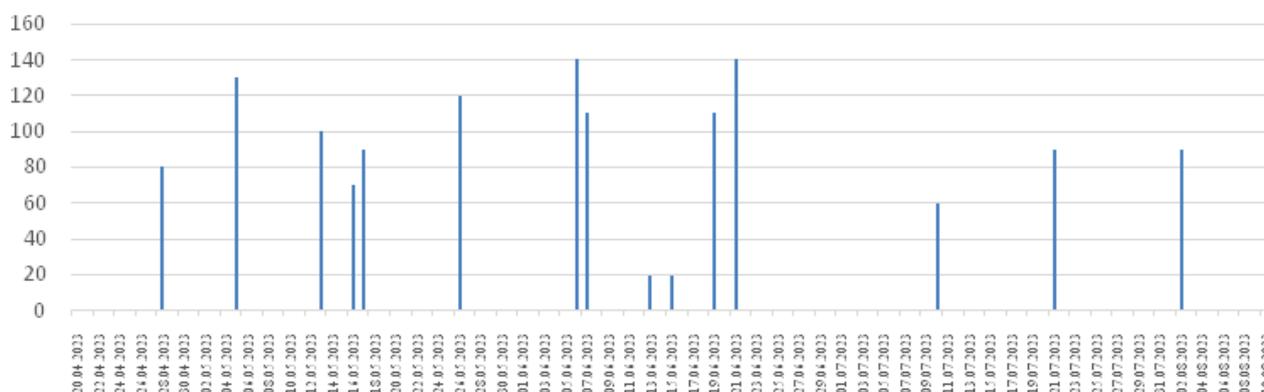


Рисунок 2. Диаграмма поливов в течение вегетации лука репчатого в однолетней культуре

Сбор информации при реализации технологии интеллектуальной системы полива AIST использовали для разработки плана практического применения и приобретения собственного опыта использования системы AIST в хозяйстве.

Датчики, установленные в почве, работают авто-

номно от солнечной энергии и могут передавать показания в анализирующее управляющее устройство на расстояние до 3 км (на открытой местности). Исполнительные устройства управления подачей воды также работают автономно от солнечной энергии, а в пасмурные дни - от встроенной батареи (рис. 2).



Рисунок 2. Датчик и исполнительный модуль системы AIST на поле с капустой белокочанной

Оптимальный нижний порог влажности почвы для запуска полива необходимо определить эмпирически для различных типов почвы и применять рекомендуемые режимы увлажнения для выращи-

ваемой культуры [1]. Вода под давлением должна быть постоянно доступна для частых и непродолжительных поливов. На больших полях короткие циклы полива могут привести к значительному дре-

нажу в нижней части поля, когда в капельных линиях снижается давление. Непосредственный мониторинг влажности почвы в корневой зоне избавляет от многих догадок при планировании полива.

Так как почвенные условия могут отличаться даже в пределах одного поля, то для контроля показаний датчиков использовали классический и надежный термостатно-весовой метод определения влажности почвы, по результатам которого вносили поправочные коэффициенты значений показаний датчиков в программе управления поли-

вом. Оценка точности измерений контролируемых параметров (влажность и температура почвы на глубине 10, 40 и 60 см) показала среднее значение 2,31 %, что вполне достаточно для реализации технологии дифференцированного полива и поддержания заданных значений влажности почвы на контролируемых глубинах.

Технология позволяет в точности с заданными условиями поддерживать динамику влажности почвы в соответствии с фазами роста растений (рис. 3).

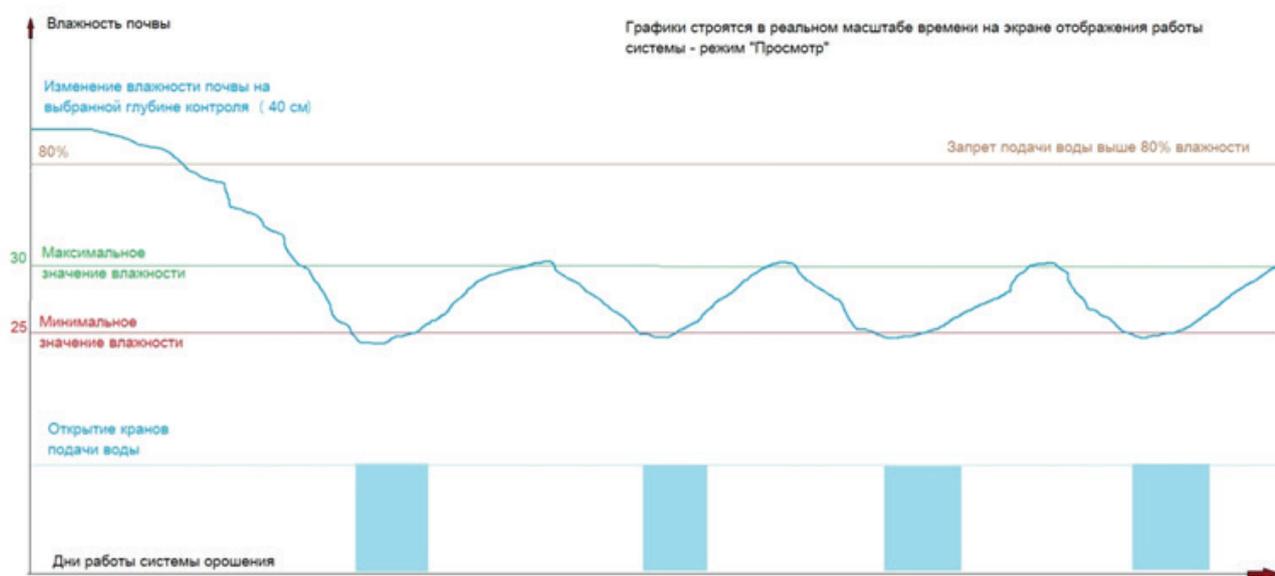


Рисунок 3. Пример отображения интерфейса работы «датчик-исполнительное устройство» системы AIST

Норма автоматизированного полива лука репчатого в однолетней культуре с использованием системы AIST за вегетацию составила 940,2 м³/га (68,6 % от ручного капельного полива), т.е. экономия поливной воды 31,4 %.

Таблица 2. Нормы автоматизированного полива при использовании системы AIST в течение вегетации лука репчатого в однолетней культуре, м³/га

| Месяц | Декада | сумма, м ³ /га |
|--------|--------|---------------------------|
| апрель | I | - |
| | II | - |
| | III | 63,4 |
| май | I | 112,6 |
| | II | 104,3 |
| | III | 125,6 |
| июнь | I | 143,9 |
| | II | 78,4 |
| | III | 118,6 |

| Месяц | Декада | сумма, м ³ /га |
|--------------------------------|--------|---------------------------|
| июль | I | 68,4 |
| | II | 45,4 |
| | III | 32,1 |
| август | I | 47,5 |
| | II | - |
| | III | - |
| ВСЕГО м ³ /га | | 940,2 |
| % от ручного капельного полива | | 68,6 |

Урожайность овощных культур при использовании автоматизированной системы полива AIST на уровне или выше, чем при капельном поливе в ручном режиме, исходя из необходимых норм полива (табл. 3). Стоит отметить, что управление поливом в открытом грунте сильно отличается от полива в условиях защищенного грунта. В отличие от теплицы, невозможно в полной мере контролировать почвенно-климатические условия выращивания, т.к. площади под культурами зачастую велики и разнообразны по свойствам. Количество солнечных дней и

выпадающих осадков случайно, все это затрудняет создание контролируемых условий выращивания.

Таблица 3. Урожайность лука репчатого сорта Мячковский 300 в однолетней культуре в зависимости от способов полива, т/га

| Фон удобрений (с поливом) | Густота стояния растений к уборке, тыс. шт/га | Диаметр луковицы, см | Масса луковицы, г | Урожайность общая, т/га | Прибавка урожайности | |
|---|---|----------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------|------|
| | | | | | т/га | % |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + фертигация в течение вегетации (капельный полив в ручном режиме) | 627,0 | 56,2 | 63,5 | 42,3 | - | - |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ + фертигация в течение вегетации (AIST) | 659,3 | 57,7 | 70,6 | 46,8 | 4,5 | 10,6 |
| HCP ₀₅ | - | - | - | 2,51 | - | - |

За счет более точного дифференцированного полива автоматизированной интеллектуальной системой AIST были получены дружные всходы, что положительно отразилось на густоте стояния растений лука репчатого к уборке, размерно-весовых показателей луковицы, и в конечном итоге дало существенную прибавку урожайности (4,5 т/га) при экономии воды 31,37 %.

Таким образом, цифровые решения в овощеводстве, в частности, интеллектуальные системы полива, очень эффективны, и их использование в сельском хозяйстве будет только увеличиваться с каждым годом [3, 4].

Выводы

Испытание в условиях открытого грунта на луке репчатом в однолетней культуре на орошаемых почвах поймы р. Москва автоматизированной интеллектуальной системы полива AIST прошло успешно. Использование дифференцированного полива при использовании системы AIST положи-

тельно отразилось на густоте стояния растений лука репчатого к уборке, размерно-весовых показателей луковицы, и в конечном итоге дало существенную прибавку урожайности (4,5 т/га) при экономии воды 31,4 %.

Сбор, формирование и предварительная обработка, хранение и защита актуальных данных, полученных в реальном времени, позволит осуществлять оперативное принятие решения о состоянии и управлении орошением.

Как показывают результаты практических исследований, применение в овощеводстве открытого грунта интеллектуальной системы управления поливом является вполне реализуемой задачей. При широком применении может дать высокие результаты, сократить время на контроль влажности почвы и управление поливом, экономить поливную воду, поддерживать оптимальные условия выращивания овощной культуры и, в итоге, получить хороший урожай качественной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меньших, А.М. Нормы увлажнения почвы при выращивании овощных культур / А.М. Меньших, С.С. Ванеян // Орошаемое земледелие. – 2017. – № 1. – С. 17-18.
2. Фартуков, В.А. Принципы управления орошением овощных культур / В.А. Фартуков, М.И. Зборовская, А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, Д.М. Васильев // Инновации и инвестиции. – 2022. – № 11. – С. 262-268.
3. Федосов, А.Ю. Инновационные технологии орошения овощных культур / А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, М.И. Иванова, А.А. Рубцов. – М.: Изд-во «Ким Л.А.», 2021. – 306 с.
4. Федосов, А.Ю. Применение искусственного интеллекта при оптимизации орошения и применении гербицидов / А.Ю. Федосов, А.М. Меньших, В.А. Фартуков, М.И. Зборовская, Д.М. Васильев // Экономика строительства. – 2023. – № 2. – С. 42-51.
5. Alexandra, C. Cyber-physical systems in water management and governance / C. Alexandra, K.A. Daniell, J. Guillaume, C. Saraswat, H.R. Feldman // Current Opinion in Environmental Sustainability. – 2023. – Volume 62. – P. 101290. DOI:10.1016/j.cosust.2023.101290
6. Alves, R.G. Development of a Digital Twin for smart farming: Irrigation management system for water saving / R.G. Alves, R.F. Maia, F. Lima // Journal of Cleaner Production. – 2023. – Volume 388. – P. 135920. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.135920
7. Doshi, J. Smart Farming Using IoT a Solution for Optimally Monitoring Farming Conditions / J. Doshi, T. Patel, S.K. Bharti // Procedia Computer Science. – 2019. – № 160. – P. 746–751. DOI:10.1016/j.procs.2019.11.016
8. Dukes, M.D. Soil moisture controlled subsurface drip irrigation on sandy soils / M.D. Dukes, J.M. Scholberg // Applied Engineering in Agriculture. – 2005. – № 21(1). – P. 89–101. DOI:10.13031/2013.17916
9. FAO. The Future of Food and Agriculture. In Food Agric; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2017. – P. 1–180.
10. FAO. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture—Systems at Breaking Point (SOLAW 2021); Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2021.
11. Farooq, Hira A Review on Smart IoT Based Farming / Hira Farooq, Hafeez Ur Rehman, Anam Javed, Mehnaz Shoukat, Sandra Dudley // Annals of Emerging Technologies in Computing (AETiC), Print ISSN: 2516-0281, Online ISSN:

2516-029X, - 2020. - Vol. 4. - № 3. - P. 17-28. DOI:10.33166/AETiC.2020.03.003

12. Kargas, G. Performance analysis and calibration of a new low-cost capacitance soil moisture sensor / G. Kargas, K.X. Soulis // *J. Irrig. Drain. Eng.* - 2012. - №138. - P. 632–641. DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000449

13. Paglia, E. The Intergovernmental Panel on Climate Change: Guardian of Climate Science / Eric Paglia, Charles F. Parker // *Guardians of Public Value: How Public Organisations Become and Remain Institutions.* - Publisher: Palgrave Macmillan. -2020. -P. 295-320. DOI:10.1007/978-3-030-51701-4_12

14. Munoz-Carpena, R. Design and Field Evaluation of a New Controller for Soil-Water Based Irrigation / R. Munoz-Carpena, M.D. Dukes, Y. Li, W. Klassen // *Applied Engineering in Agriculture.* -2008. -№ 24. - P. 183–191. DOI:10.13031/2013.24266

15. Munoz-Carpena, R. Field comparison of tensiometer and granular matrix sensor automatic drip irrigation on tomato / R. Munoz-Carpena, M.D. Dukes, Y.C. Li, W. Klassen // *HortTechnology.* – 2005. - № 15(3). - P. 584–590. DOI:10.21273/HORTTECH.15.3.0584

16. Parvin, N. Soil-specific calibration of capacitance sensors considering clay content and bulk density / N. Parvin, A. Degré // *Soil Research.* -№54 (1). - P. 111–119. DOI:10.1071/SR15036

17. Mohamed, S. E. Smart Farming for Improving Agricultural Management / S.E. Mohamed, A.A. Belal, S. Kotb Abd-Elmabod, M.A. El-Shirbeny, A. Gad, M.B. Zahran // *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.* – 2021. -№24(4). - P. 971–981. DOI:10.1016/j.ejrs.2021.08.007

18. Soulis, K.X. Optimum soil water content sensors placement in drip irrigation scheduling systems: Concept of time stable representative positions / K.X. Soulis, S. Elmaloglou // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* – 2016. -№142(11). DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001093

19. Soulis, K.X. Investigating the effects of soil moisture sensors positioning and accuracy on soil moisture-based drip irrigation scheduling systems / K.X. Soulis, S. Elmaloglou, N. Dercas // *Agricultural Water Management.* -2015. № 148(1–2): 258–268. DOI:10.1016/j.agwat.2014.10.015

20. Touil, S. A review of smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yield / S. Touil, A. Richa, M. Fizir, J. A. Garcia // *Irrigation and Drainage.* -2022. №71. -P. 1–21. DOI:10.1002/ird.2735

21. Wolfert, S. Big Data in Smart Farming – A review / S. Wolfert, L. Ge, C. Verdouw, M.-J. Bogaardt // *Agricultural Systems.* – 2017. -Volume 153. -P. 69-80. DOI:10.1016/j.agsy.2017.01.023

22. Zotarelli, L. Irrigation scheduling for green bell peppers using capacitance soil moisture sensors / L. Zotarelli, M.D. Dukes, J.M.S. Scholberg, K. Femminella, R. Munoz-Carpena // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* -2011. - №137(2). - P.73-81. DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000281

REFERENCES

1. Menshikh, A.M. Norms of soil moisture in the cultivation of vegetable crops / A.M. Menshikh, S.S. Vaneyan // *Irrigated agriculture.* - 2017. - № 1. - P. 17-18.

2. Fartukov, V.A. Principles of irrigation management of vegetable crops / V.A. Fartukov, M.I. Zborovskaya, A.Yu. Fedosov, A.M. Menshikh, D.M. Vasiliev // *Innovations and investments.* -2022. - № 11. - P. 262-268.

3. Fedosov, A.Yu. Innovative technologies for irrigation of vegetable crops / A.Yu. Fedosov, A.M. Menshikh, M.I. Ivanova, A.A. Rubtsov. - M.: Publishing house “Kim L.A.”, 2021. - 306 p.

4. Fedosov, A.Yu. The use of artificial intelligence in the optimization of irrigation and the use of herbicides / A.Yu. Fedosov, A.M. Menshikh, V.A. Fartukov, M.I. Zborovskaya, D.M. Vasiliev // *The economics of construction.* - 2023. - № 2. - P. 42-51.

5. Alexandra, S. Cyberphysical systems in water resources management / S. Alexandra, K.A. Daniell, J. Guillaume, K. Saraswat, H.R. Feldman // *Modern opinion in the field of environmental sustainability.* – 2023. - Volume 62. – P. 101290. DOI:10.1016/j.cosust.2023.101290

6. Alves, R.G. Development of a digital twin for intelligent agriculture: irrigation management system for saving water / R.G. Alves, R.F. Maya, F. Lima // *Journal of Clean Production.* – 2023. - Volume 388. – P. 135920. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.135920

7. Doshi, J. Intelligent farming using the Internet of Things - a solution for optimal monitoring of agricultural conditions / J. Doshi, T. Patel, S.K. Bharti // *Proceedings Computer Science.* – 2019. - № 160. - P. 746-751. DOI:10.1016/j.procs.2019.11.016

8. Dukes, M.D. Regulation of soil moisture during drip irrigation on sandy soils / M.D. Dukes, J.M. Scholberg // *Applied engineering in agriculture.* -2005. - № 21(1). - P. 89-101. DOI:10.13031/2013.17916

9. FAO. The future of food and agriculture. In “Food Agric”; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2017. - P. 1-180.

10. FAO. The state of the world’s land and water resources for food production and agriculture – systems at the limit (SOLAW 2021); Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2021.

11. Farook, Hira. Review of agriculture based on the intelligent Internet of Things / Hira Farook, Hafiz Ur Rehman, Anam Javed, Mehnaz Shukat, Sandra Dudley // *Annals of New Technologies in Computing (AETiC)*, Printed ISSN: 2516-0281, Online ISSN: 2516-029X. - 2020. - Volume 4. - № 3. - P. 17-28. DOI:10.33166/AETiC.2020.03.003

12. Kargas, G. Performance analysis and calibration of a new inexpensive capacitive soil moisture sensor / G. Kargas, K.H. Soulis // *J. Irig. To exhaust. Eng.* -2012. No.138. - pp. 632-641. DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000449

13. Paglia, E. Intergovernmental Panel on Climate Change: Guardians of Climate Science / Eric Paglia, Charles F. Parker // *Guardians of Public Values: how public organizations become and remain institutions.* - Publishing house: Palgrave Macmillan. -2020. - P. 295-320. DOI:10.1007/978-3-030-51701-4_12

14. Munoz-Karpena, R. Design and field evaluation of a new controller for irrigation with water from soil / R. Munoz-Karpena, M.D. Dukes, Yu. Li, V. Klassen // *Applied engineering in agriculture.* -2008. -№ 24. - P. 183-191. DOI:10.13031/2013.24266

15. Munoz-Karpena, R. Field comparison of a strain gauge and a granular matrix sensor for automatic drip irrigation

of tomatoes / R. Munoz-Karpena, M.D. Dukes, Y.S. Lee, V. Klassen // Horttechnologies. – 2005. - № 15(3).- P. 584-590. DOI:10.21273/HORTTECH.15.3.0584

16. Parvin, N. Calibration of capacitive sensors for specific soils, taking into account the clay content and bulk density / N. Parvin, A. Degre // Soil research. - № 54 (1). – P. 111-119. DOI:10.1071/SR15036

17. Mohamed, S. E. Intelligent agriculture for improving agricultural management / S. E. Mohamed, A.A. Belal, S. Kotb Abd-Elmabod, M.A. El Shirbeni, A. Gad, M.B. Zahran // Egyptian Journal remote sensing and space science. – 2021. -№24(4). - Pp. 971-981. DOI:10.1016/j.ejrs.2021.08.007

18. Soulis, K.H. Optimal placement of soil moisture sensors in drip irrigation planning systems: the concept of time-stable representative positions / K.H. Soulis, S. Elmaloglu // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. – 2016. - №142(11). DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001093

19. Soulis, K.H. Investigation of the influence of positioning and accuracy of soil moisture sensors on drip irrigation planning systems based on soil moisture / K.H. Soulis, S. Elmaloglu, N. Derkas // Water resources management in agriculture. -2015. - № 148(1-2): 258-268. DOI:10.1016/j.agwat.2014.10.015

20. Tuil, S. Review of strategies for rational irrigation management and their impact on water conservation and crop yields / S. Tuil, A. Richa, M. Fizir, J. A. Garcia // Irrigation and drainage. -2022. - №71. - P. 1-21. DOI:10.1002/ird.2735

21. Wolfert, S. Big data in intelligent agriculture – Review / S. Wolfert, L. Ge, K. Verdou, M.-J. Bogardt // Agricultural systems. - 2017. -Volume 153. - P. 69-80. DOI:10.1016/j.agsy.2017.01.023

22. Zotarelli, L. Planning irrigation of green bell pepper using capacitive soil moisture sensors / L. Zotarelli, M.D. Dukes, J.M.S. Scholberg, K. Femminella, R. Munoz-Karpena // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. -2011. - №137(2). - P.73-81. DOI:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000281

Александр Михайлович Меньших

Ведущий научный сотрудник сектора земледелия
E-mail: soulsunnet@yandex.ru

Alexander Mikhailovich Menshikh

Leading Researcher in the Agriculture Sector
E-mail: soulsunnet@yandex.ru

Александр Юрьевич Федосов

Младший научный сотрудник сектора земледелия
E-mail: fffed@rambler.ru

Alexander Yuryevich Fedosov

Junior Researcher in the Agriculture Sector
E-mail: fffed@rambler.ru

Все: ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО
140153, Московская область, Раменский район,
д. Верея, стр. 500

All: ARRIVG – branch of FSBSI FSCV
500, Vereya, Ramensky district, Moscow region,
140153, Russia

Вероника Алексеевна Янченко

Студентка факультета «Фундаментальные науки»,
кафедра ФН11 «Вычислительная математика и
математическая физика»
E-mail: yanchenko-it@yandex.ru

Veronika Alekseevna Yanchenko

Student of the Faculty of Fundamental Sciences,
Department of FN11 “Computational Mathematics and
Mathematical Physics”
E-mail: yanchenko-it@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1.

Bauman Moscow State Technical University
5, building 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow,
105005, Russia

Василий Александрович Фартуков

Доцент кафедры гидротехнических сооружений
E-mail: vasfar@mail.ru

Vasily Alexandrovich Fartukov

Associate Professor, Department
of Hydraulic Structures
E-mail: vasfar@mail.ru
FSBEI HE RGAA-MSHA named after K.A. Timiryazev
49, Timiryazevskaya str., Moscow, 127434, Russia

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева
127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Мария Ивановна Иванова

Главный научный сотрудник сектора селекции
и семеноводства луковых культур E-mail: ivanova_170@mail.ru

Maria Ivanovna Ivanova

Chief Researcher of the Sector of Breeding and Seed
Production of Onion Crops
E-mail: ivanova_170@mail.ru

ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО
140153, Московская область, Раменский район,
д. Верея, стр. 500

ARRIVG – branch of FSBSI FSCV
500, Vereya, Ramensky district, Moscow region,
140153, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-85-91
УДК 635.11

**Сурихина Т.Н.,
Азопкова М.А.,** канд. с.-х. наук
Московская область, Россия

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРОИЗВОДСТВА ЧЕСНОКА В РОССИИ

Важным показателем, характеризующим развитие отечественного овощеводства, является уровень самообеспечения страны овощной продукцией. Овощная промышленность снабжает население такими важнейшими продовольственными продуктами как лук, чеснок, томат, морковь, перец сладкий и др. Роль овощей в продовольственном балансе определяется их значимостью для питания человека, его работоспособности и долголетия. Ценность и незаменимость овощей, в том числе и чеснока, в питании человека заключаются в том, что они являются основными поставщиками витаминов и углеводов, минеральных солей и эфирных масел, фитонцидов и пищевых волокон, необходимых для нормального функционирования организма. В России уровень самообеспеченности по овощам и бахчевым культурам составляет 86,3 %. Общая потребность в чесноке составляет около 300 тыс. т в год, фактическое же производство по всем категориям хозяйств по данным ФАО (2020 г.) составляло 190 тыс. т. В Российской Федерации под чесноком занято 18,5 тыс. га. Посевная площадь под чесноком в хозяйствах всех категорий на протяжении шести лет уменьшилась. Многие фермеры и сельскохозяйственные организации отказываются от выращивания чеснока из-за низкой доходности и трудоемкого процесса. Чеснок пользуется большой популярностью среди хозяйств, где его выращивают на небольших участках без необходимости использования сельскохозяйственной техники. Основное производство чеснока в 2023 году сосредоточено в Северо-Кавказском федеральном округе и объем валового сбора составил 1 712,9 тыс. ц.

Ключевые слова: овощеводство, продовольственная безопасность, импортозамещение, РФ, валовой сбор, урожайность, посевная площадь, чеснок.

ANALYTICAL REVIEW OF GARLIC PRODUCTION IN RUSSIA

An important indicator characterizing the development of domestic vegetable growing is the level of self-sufficiency of the country with vegetable products. The vegetable industry supplies the population with such important food products as onions, garlic, tomatoes, carrots, sweet peppers, etc. The role of vegetables in the food balance is determined by their importance for human nutrition, health and longevity. The value and irreplaceability of vegetables, including garlic, in human nutrition lies in the fact that they are the main suppliers of vitamins and carbohydrates, mineral salts and essential oils, phytoncides and dietary fibers necessary for the normal functioning of the body. In Russia, the level of self-sufficiency in vegetables and melons is 86,3 %. The total demand for garlic is about 300 thousand tons per year, while the actual production for all categories of farms according to FAO (2020) was 190 thousand tons. In the Russian Federation, 18.5 thousand hectares are occupied under garlic. The acreage under garlic in farms of all categories has decreased over the past six years. Many farmers and agricultural organizations refuse to grow garlic because of the low profitability and laborious process. Garlic is very popular with households of the population, they are grown on small plots, the presence of agricultural machinery is not necessary. The main garlic production in 2023 is concentrated in the North Caucasus Federal District. In 2023, the gross harvest of garlic amounted to 1,712.9 thousand tons.

Key words: vegetable growing, food security, import substitution, Russian Federation, gross harvest, yield, acreage, garlic.

Введение

Агропромышленный комплекс является одним из крупнейших ключевых секторов российской экономики, производя около 8 % ее валового внутреннего продукта, он составляет важнейшую часть производственной и социальной инфраструктуры, одновременно стимулируя активное развитие смежных с ним отраслей, демонстрируя уверенный рост, несмотря на последствия распространения коронавирусной инфекции, усиление геополитического и санкционного давления на страну, обострение межгосударственных отношений.

Основная цель функционирования АПК Рос-

сии – поддержание продовольственной безопасности страны, что предполагает постоянное, непрерывное производство продуктов питания на уровне удовлетворения медицинских норм потребления и достаточном с позиции возможности их покупки (как физической, так и экономической) или самостоятельного производства. Именно этим определяется и народнохозяйственное значение АПК. Продукты питания являются естественной, физиологической потребностью человека, обеспечивая ему возможность жизнедеятельности.

По рекомендации Всемирной организации здравоохранения в ежедневном рационе здорового

взрослого человека должно быть не менее 400 г овощей, при этом желательно, чтобы присутствовало не менее 5 видов. Из этого следует, что рациональная норма потребления овощей должна составлять 146 кг/год на человека. Согласно данным Росстата за 2021 г., фактическое потребление овощей в России на душу населения составляет 109 кг, а уровень самообеспеченности по овощам и продовольственным бахчевым культурам составляет 86,3 %, что предполагает необходимость увеличения их производства [8].

Чеснок важная культура в рационе человека. Его используют для профилактики развития онкологических заболеваний и заболеваний сердечно-сосудистой системы. Медицинская норма потребления чеснока составляет 3 кг/год на человека.

Чеснок (*Allium sativum* L.) - вегетативно размножаемое растение, требовательное к плодородию почвы. Нехватка чеснока покрывается ввозом из-за рубежа, и по большей части из Китая, который является самым крупным производителем чеснока в мире. Луковица сложная, может включать от 2 до 50 зубков. В них содержатся 35–42 % сухих веществ, 6,0–7,9 % сырого белка, 7–25 мг % аскорбиновой кислоты, 0,5 % редуцирующих сахаров, 20–27 % полисахаридов, 53,3–78,9 % сахаров, 5,16 % жира, витамины С, В₁, РР, В₂. В золе чеснока найдено 17 химических элементов: соли фосфора, кальция, меди, йода, титана, серы, железо, а также селен и германий. В культуре имеются ценные для человека аминокислоты, в том числе много лизина. Наличие сульфидов и эфирного масла обуславливает остроту вкуса и своеобразие запаха. Химический состав чеснока, в том числе и содержание эфирного масла, зависит от сорта, сроков посадки и уборки, почвенно-климатических условий, условий хранения, состава внесённых удобрений [9].

Растение чеснока имеет богатый химический состав, поэтому его применяют в различных отраслях пищевой промышленности, в медицине, в ветеринарии, борьбе с вредителями и болезнями некоторых сельскохозяйственных культур, при сохранении ряда продуктов, при изготовлении лекарственных препаратов [4].

Его можно размножить воздушными луковичками, однозубковыми луковичками, зубками. В силу вегетативного способа размножения эта ценная овощная культура подвержена многочисленным заболеваниям, в том числе и вирусным. Использование инфицированного исходного материала

приводит к потере массы луковицы на 12,3 % и количества зубков на 40,2 %, снижению урожайности до 60 % по сравнению со здоровым, а новые сорта, созданные методом клонового отбора, изначально находятся под угрозой вырождения [5].

Важное место в увеличении производства отводится селекции и семеноводству. Селекция чеснока озимого ведется по продуктивности с хорошей товарностью луковиц, устойчивости к болезням, зимостойкости, длительной лежкости в период хранения [9].

По данным статистики Россельхознадзора в 2022 г. основными странами-поставщиками плодовоовощной продукции были: Турция, Египет, Беларусь, Азербайджан и Узбекистан. Отмечено не критичное снижение ввоза в Россию некоторых основных овощей на фоне активного роста внутреннего производства [3].

Цель исследований

Проанализировать состояние производства чеснока в России, динамику посевных площадей, урожайность, валовой сбор в мире и в РФ по федеральным округам и по различным категориям хозяйств и выявить проблемы и перспективы развития производства чеснока.

Материалы и методы

Информационную базу исследования составили данные ФАО, официальной государственной статистики, Федеральной таможенной службы, Министерства сельского хозяйства РФ, Министерства финансов РФ, Парламентских слушаний Комитета Государственной Думы по аграрным вопросам, Евразийского экономического союза, оперативные онлайн-сообщения федеральных и региональных уровней, материалы периодической печати, научных семинаров, конференций, симпозиумов, отражающие различные аспекты исследуемой проблемы. Для анализа использовали методы, применяемые в экономической науке (методы системного, статистического и графического анализа).

Результаты и обсуждение

Мировое производство чеснока в последние годы резко возросло. Так, в 2022 г. было произведено 28 млн т по сравнению с 11 млн т в 2020 г. В общей сложности в Китае производится чуть более 20 млн тонн чеснока ежегодно. Индия – вторая в мире страна после Китая по производству чеснока. Средний ежегодный показатель составляет 1,3 млн т продукта. Третье место занимает Бангладеш, ежегодный показатель 526 тыс. т продукта. В Египте производится 396 тыс. т чеснока (табл.1)

Таблица 1. Основные страны производители чеснока (FAOSTAT)

| Страна | Посевные площади, тыс. га | | | Производство, тыс. т | | | Урожайность, т/га | | |
|--------|---------------------------|---------|---------|----------------------|----------|----------|-------------------|---------|---------|
| | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. |
| Китай | 830,0 | 823,4 | 825,5 | 20 757,0 | 21 212,9 | 21 391,3 | 25,0 | 25,7 | 25,9 |
| Индия | 363,0 | 392,0 | 393,0 | 2 917,0 | 3 190,0 | 3 208,0 | 8,0 | 8,1 | 8,1 |

Продолжение таблицы 1

| Страна | Посевные площади, тыс. га | | | Производство, тыс. т | | | Урожайность, т/га | | |
|-----------|---------------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|
| | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. |
| Бангладеш | 73,6 | 72,8 | 72,2 | 485,4 | 501,6 | 526,8 | 6,6 | 6,8 | 7,3 |
| Египет | 15,8 | 18,7 | 17,9 | 333,5 | 445,7 | 396,4 | 21,2 | 23,7 | 22,0 |
| Испания | 28,0 | 29,8 | 29,8 | 269,1 | 315,7 | 281,9 | 9,6 | 10,5 | 9,4 |
| Украина | 23,8 | 22,9 | 20,5 | 211,7 | 215,0 | 188,9 | 8,8 | 9,3 | 9,2 |

В России особенно ощущается недостаток качественного посадочного материала чеснока, что не позволяет удовлетворить потребительский рынок в этой культуре в полном объеме.

По официальным данным Росстата, посевные площади, занятые под выращивание чеснока в 2023 году составили 18,5 тыс. га (рис. 1).

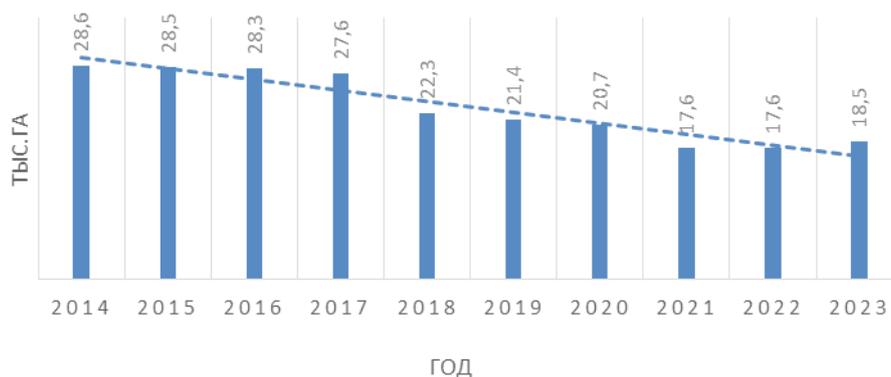


Рисунок 1. Посевная площадь чеснока в хозяйствах всех категорий РФ, тыс. га, 2014-2023 гг.

Посевные площади имеют тенденцию к ежегодному сокращению. С 2014 года этот показатель в хозяйствах всех категорий уменьшился на 10,1 тыс. га.

По официальным данным Росстата лидерами по посевной площади, занимаемой под чесноком, является Краснодарский край (2023 г. – 2,4 тыс. га) и Республика Дагестан (2023 г. – 2,1 тыс. га) (табл. 2).

Таблица 2. Посевная площадь чеснока по федеральным округам в хозяйствах всех категорий РФ, 2018–2023 гг. тыс. га

| Регион | Год | | | | | |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Российская Федерация | 22,3 | 21,4 | 20,7 | 17,6 | 17,6 | 18,5 |
| Центральный ФО | 5,4 | 5,2 | 5,2 | 4,4 | 4,3 | 4,2 |
| Северо-Западный ФО | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Южный ФО | 4,9 | 5,2 | 4,7 | 4,2 | 4,6 | 4,3 |
| Северо-Кавказский ФО | 4,7 | 4,4 | 4,3 | 2,7 | 2,6 | 3,7 |
| Приволжский ФО | 3,6 | 3,3 | 3,2 | 3,3 | 3,3 | 3,6 |
| Уральский ФО | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,7 |
| Сибирский ФО | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| Дальневосточный ФО | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |

В анализируемый период площади под чесноком сократились как в целом по РФ, так и во всех федеральных округах, кроме Северо-Кавказского федерального округа, где увеличение произошло благодаря хозяйствам населения Республики Дагестан.

За шесть лет посевная площадь с каждым

годом уменьшается в хозяйствах в среднем на 3,6 тыс. га, многие фермеры и сельскохозяйственные организации отказываются от выращивания чеснока из-за низкой доходности. Наибольшее сокращение посевов чеснока отмечается в сельхозорганизациях (табл. 3).

Таблица 3. Посевная площадь чеснока по категориям хозяйств в РФ, тыс. га (2018-2023 гг.)

| Год | Хозяйства всех категорий | в том числе: | | |
|------|--------------------------|--|--------------------------|--|
| | | Сельскохозяйственные организации (СХО) | Хозяйства населения (ХН) | Крестьянские(фермерские) хозяйства (КФХ) |
| 2018 | 22,3 | 0,8 | 20,6 | 0,9 |
| 2019 | 21,4 | 1,2 | 19,1 | 1,2 |

Продолжение таблицы 3

| Год | Хозяйства всех категорий | в том числе: | | |
|------|--------------------------|--|--------------------------|--|
| | | Сельскохозяйственные организации (СХО) | Хозяйства населения (ХН) | Крестьянские(фермерские) хозяйства (КФХ) |
| 2020 | 20,8 | 0,9 | 19,0 | 0,9 |
| 2021 | 17,6 | 0,9 | 15,9 | 0,7 |
| 2022 | 17,6 | 0,7 | 16,1 | 0,7 |
| 2023 | 18,5 | 0,5 | 17,0 | 1,0 |

За исследуемый период 2018–2023 гг. посевная площадь под чесноком с каждым годом уменьшается в среднем на 3,8 тыс. га. В крестьянских (фермерских) хозяйствах уменьшалась до 2022 г. и составляла 0,7 тыс. га, но в 2023 г. этот показатель увеличился на 0,3 тыс. га. В 2023 году в среднем 92 % всех посевных площадей чеснока принадлежит домашним хозяйствам. Сельскохозяйственные организации занимают 2,7 % посевных площа-

дей, К(Ф)Х принадлежит 5,4 %.

Наращивание производства овощей является одной из ключевых задач обеспечения продовольственной безопасности стран. Валовые сборы по чесноку в хозяйствах всех категорий РФ имеют волнообразный характер, за исследуемый период этот показатель варьировал в пределах 2119,8–1480,4 тыс. ц (табл. 4). Валовой сбор в 2023 г. увеличился на 232,5 тыс. ц по сравнению с 2022 г.

Таблица 4. Валовой сбор чеснока по федеральным округам в хозяйствах всех категорий РФ, тыс. ц (2018–2023 гг.)

| Регион | Год | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Российская Федерация | 2119,8 | 2020,6 | 1896,6 | 1489,0 | 1480,4 | 1712,9 |
| Центральный ФО | 484,6 | 442,2 | 425,3 | 383,6 | 352,1 | 334,6 |
| Северо-Западный ФО | 65,4 | 68,1 | 64,4 | 59,1 | 55,9 | 54,3 |
| Южный ФО | 315,6 | 346,8 | 281,6 | 257,1 | 283,1 | 280,2 |
| Северо-Кавказский ФО | 588,8 | 574,6 | 569,7 | 289,4 | 283,1 | 556,1 |
| Приволжский ФО | 414,1 | 345,6 | 332,6 | 310,5 | 325,3 | 315,6 |
| Уральский ФО | 88,4 | 89,4 | 72,3 | 52,9 | 51,3 | 49,0 |
| Сибирский ФО | 127,9 | 120,6 | 117,8 | 108,7 | 102,3 | 97,7 |
| Дальневосточный ФО | 34,6 | 32,9 | 33,0 | 27,7 | 27,4 | 25,3 |

По данным Росстата, в 2023 г. в РФ объем валового сбора чеснока составил 1712,9 тыс. ц, что на 406,9 тыс. ц ниже аналогичного показателя за 2018 г. Среди всех регионов России лидером по производству чеснока является Республика Дагестан. В 2023 г. фермеры, сельхозорганизации и хозяйства населения собрали около 410,8 тыс. ц. В первую тройку лидеров по сбору чеснока в России также вошли Краснодарский край (126,4 тыс. ц),

Ростовская область (76,4 тыс. ц), Воронежская область (70,8 тыс. ц). Успех выращивания чеснока в Краснодарском крае зависит от погодных-климатических факторов, использования сортов, устойчивых к температурным стрессам и адаптивных к почвенным условиям зон выращивания, а также осуществления агротехнических приемов, способствующих перезимовке растений и повышению урожайности [11].

Таблица 5. Валовой сбор чеснока по категориям хозяйств в РФ, тыс. ц (2018–2023 гг.)

| Год | Хозяйства всех категорий | в том числе: | | |
|------|--------------------------|--|--------------------------|--|
| | | Сельскохозяйственные организации (СХО) | Хозяйства населения (ХН) | Крестьянские(фермерские) хозяйства (КФХ) |
| 2018 | 2119,8 | 23,9 | 2073,4 | 22,5 |
| 2019 | 2020,6 | 54,1 | 1909,3 | 57,3 |
| 2020 | 1896,6 | 51,4 | 1812,2 | 30,0 |
| 2021 | 1489,0 | 40,6 | 1425,6 | 22,8 |
| 2022 | 1480,4 | 18,3 | 1429,2 | 32,9 |
| 2023 | 1712,9 | 13,0 | 1660,8 | 39,0 |

В 2023 году хозяйства РФ стали основным производителем чеснока, на их долю приходится почти 95 % валового сбора. Это объясняется тем, что население самостоятельно пытается обеспечить себя основными продуктами

питания. Продукция, выращенная в хозяйствах потребляется ее производителями и членами их семей, а излишки реализуются через рынки (табл. 5).

В 2023 году урожайность чеснока в РФ выросла

и составила 93,6 ц/га. Стоит отметить, что несмотря на сокращение площадей, урожайность чеснока ежегодно растет. Исключение составили 2021 и 2022 год, когда отмечалось незначительное снижение урожая (табл. 6).

Урожайность чеснока в России за исследуемый

период колеблется по годам. В 2023 г. некоторые области били рекорды по увеличению урожайности, это такие как Астраханская область (369,0 ц/га), Республика Дагестан (199,6 ц/га), Республика Бурятия (121,3 ц/га), Нижегородская область (118,5 ц/га) и Омская область (46,5 т/га).

Таблица 6. Урожайность чеснока по федеральным округам в хозяйствах всех категорий РФ, ц/га (2018–2023 гг.)

| Регион | Год | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| Российская Федерация | 96,7 | 96,2 | 92,0 | 85,4 | 85,2 | 93,6 |
| Центральный ФО | 89,8 | 86,5 | 82,7 | 86,4 | 83,5 | 82,1 |
| Северо-Западный ФО | 97,3 | 101,0 | 86,6 | 85,4 | 82,1 | 83,8 |
| Южный ФО | 65,6 | 67,8 | 59,9 | 61,0 | 62,4 | 65,9 |
| Северо-Кавказский ФО | 128,5 | 134,9 | 132,7 | 110,3 | 112,4 | 150,7 |
| Приволжский ФО | 112,8 | 106,1 | 103,4 | 95,0 | 99,4 | 88,9 |
| Уральский ФО | 95,3 | 99,4 | 84,2 | 80,0 | 77,5 | 74,9 |
| Сибирский ФО | 92,2 | 97,6 | 96,9 | 93,6 | 92,0 | 92,0 |
| Дальневосточный ФО | 74,0 | 74,6 | 73,3 | 72,0 | 71,9 | 68,8 |

В РФ с 2018 по 2023 г. урожайность чеснока в хозяйствах всех категорий сократилась с 96,7 до 93,6 ц/га, в том числе в сельскохозяйственных орга-

низациях с 38,9 до 29,6 ц/га и хозяйствах населения с 106,6 до 98,1 ц/га, а в крестьянских (фермерских) хозяйствах выросла с 32,9 до 41,7 ц/га (табл. 7).

Таблица 7. Урожайность чеснока по категориям хозяйств в РФ, тыс. ц (2018–2023 гг.)

| Год | Хозяйства всех категорий | в том числе: | | |
|------|--------------------------|--|--------------------------|---|
| | | Сельскохозяйственные организации (СХО) | Хозяйства населения (ХН) | Крестьянские (фермерские) хозяйства (КФХ) |
| 2018 | 96,7 | 38,3 | 100,6 | 32,9 |
| 2019 | 96,2 | 54,7 | 100,0 | 62,1 |
| 2020 | 92,0 | 65,8 | 95,7 | 35,1 |
| 2021 | 85,4 | 48,3 | 89,5 | 33,9 |
| 2022 | 85,2 | 31,3 | 88,6 | 49,7 |
| 2023 | 93,6 | 29,6 | 98,1 | 41,7 |

На урожайность влияют многие факторы, в том числе погода. Большинство производителей используют в своих хозяйствах современные системы полива, технологии выращивания, уборки и предпродажной доработки. Благодаря этому удается в значительной степени сглаживать негативное влияние резкого изменения погодных условий.

В декабре 2022 года поставки чеснока в РФ составили 6,2 тыс. тонн, что на 2,6 тыс. тонн больше, чем в декабре 2021 года и на 22,4 % (на 1,2 тыс. тонн) больше показателя декабря 2020 года. Основными странами происхождения импорта чеснока в 2022 году являлись Китай (74,0 %), Иран (17,3 %), Египет (5,1 %). На долю других стран пришлось 3,6 % всех поставок.

Снижение производства в нашей стране обусловлено рядом причин. Наиболее значимыми, с нашей точки зрения, являются трудности получения высококачественного посадочного материала, то есть:

- трудность получения здорового посадочного материала;

- сложность производства через воздушную луковичку (отсутствие эффективных рекомендаций по применению гербицидов).

Для продвижения культуры и расширения объемов производства чеснока необходимо организовывать демонстрационные площадки и проводить обучающие семинары в помощь фермерам и главам личных подсобных хозяйств на базе передовых хозяйств края и опираясь на достоверный опыт.

На январь 2024 в Государственный реестр селекционных достижений внесено 113 сортов чеснока, в том числе 93 озимой формы и 20 яровой. Из них 31 % озимых и 25 % яровых сортов принадлежит Федеральному научному центру овощеводства.

Федеральный научный центр овощеводства вносит свой вклад в продовольственную безопасность страны, создавая новые сорта овощных культур. Во ВНИИО - филиале ФГБНУ ФНЦО ведется работа по оздоровлению посадочного материала чеснока с использованием технологии in

in vitro, клеточная селекция чеснока озимого, устойчивого к биотическим и абиотическим факторам таким, как повышенная кислотность почвы [1, 2].

Следует отметить, что действующие меры государственной поддержки до сих пор ориентированы в основном на крупного сельхозтоваропроизводителя. Их сложно признать комплексными для организаций отрасли всех экономических укладов. При этом крестьянско-фермерские (КФХ), личные подсобные хозяйства (ЛПХ) являются самыми незащищенными формами ведения аграрного производства. Однако поддержка их государством ограничивается в основном специальным налоговым режимом (единый сельскохозяйственный налог) и грантовой формой финансирования. Недостаток оборотных средств, недоступность кредитов, невозможность полноценной реализации собственных товаров приводит к тому, что КФХ и ЛПХ очень сложно занять свою нишу на аграрном рынке продовольствия и конкурировать с крупными производителями сельскохозяйственной продукции. В этой связи видится правильным добавить в государственное регулирование сельского хозяйства меры стимулирующего характера для развития мелкотоварных производств [6].

В настоящее время сохраняется зависимость от импортных семян, и наши российские селекционеры все свои усилия направляют на создание сортов и гибридов овощных культур, отвечающих возрастающим требованиям рынка, качеству и внешнему виду разнообразной овощной продукции, способных давать высокие урожаи при воздействии биотических и абиотических стрессоров. Правительство РФ ведет работу над созданием селекционно-семеноводческих центров. В России

существует еще одна проблема – это наличие собственных хранилищ. Мало урожай вырастить, его нужно еще и сохранить до следующего урожая. Именно современные овощехранилища позволяют сберечь урожай и сохранить одинаковую цену в среднем по году. То есть цена осенью и весной будет примерно одной и той же [7].

Выводы

В современном мире сельское хозяйство, а особенно овощеводство, переживает сложную ситуацию с проблемой обеспечения продовольственной безопасности для удовлетворения потребностей населения. Китай является постоянным мировым лидером по производству чеснока. В настоящее время главная задача – отказаться от импорта семян иностранной селекции, в связи с чем важно сконцентрироваться на создании новых гибридов, которые будут отличаться высоким качеством, хорошей урожайностью, а также устойчивостью к болезням и вредителям.

Каждый год производство чеснока сокращается, но в 2023 году оно начало расти. В этом году лидером по валовому сбору чеснока среди федеральных округов становится Северо-Кавказский федеральный округ, который собрал 556,1 тыс. ц чеснока. На втором месте находится Центральный федеральный округ с 339,6 тыс. ц чеснока, а на третьем месте Приволжский федеральный округ с 315,6 тыс. ц.

По регионам лидером по-прежнему остается Республика Дагестан. Основное производство чеснока сосредоточено в хозяйствах населения. Почти 90 % товарного чеснока в страну импортируется. Основные поставки приходят из Китая, Египта, Ирана и Узбекистана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азопкова, М.А. Применение метода in vitro для получения оздоровленного посадочного материала чеснока озимого / М.А. Азопкова, Т.М. Середин, И.В. Муравьева, С.В. Жаркова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - Барнаул, 2023. - № 3 (221). - С. 11-15.
2. Азопкова, М.А. Использование in vitro технологии в селекции чеснока озимого (*allium sativum* L.) На устойчивость к кислотности почвы / М.А. Азопкова // Известия ФНЦО. – Москва, 2023. - № 2. - С. 26-32.
3. Итоги 2022: Импорт и экспорт растительной продукции, международное сотрудничество в области карантина растений и семеноводств (электронная версия) [электронный ресурс] // Россельхознадзор: офиц. сайт. URL: <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/news/215586.html> (дата обращения: 18.03.2023).
4. Комиссаров, В.А. В культуре чеснока – научную основу / В.А. Комиссаров // Картофель и овощи. Москва, 1963. - № 11. - С. 22-24.
5. Плешаков, Т.И. Вирусы лука и чеснока: диагностика и профилактика / Т.И. Плешаков, Н.Н. Кокарека // Картофель и овощи. – Москва, 2013. - № 6. - С. 13-14.
6. Полушкина, Т.М. Государственное регулирование сельского хозяйства в системе обеспечения продовольственной безопасности. Общество: политика, экономика, право. - 2023. - № 3(116). - С. 64-69
7. Разин, О.А. Рынок производства капусты белокочанной как элемент продовольственной безопасности / О.А. Разин, Т.Н. Сурихина Т.Н. // *Oeconomia et Jus*. – Чебоксары, 2023. - № 4. - С. 33-49.
8. Солдатенко, А.В. Селекция и семеноводство овощных культур – на инновационный путь развития / А.В. Солдатенко, В.Ф. Пивоваров, О.Н. Пышная и др. // Овощи России. – Москва, 2023. - № 1. - С. 5–13.
9. Середин, Т.М. Элементный состав чеснока озимого (*allium sativum* L.) Сортов селекции ВНИИССОК / Т.М. Середин, А.Ф. Агафонов, Л.И. Герасимова, Л.В. Кривенков // Овощи России. – Москва, 2015. - №3(28). - С. 81-85. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-81-85>
10. Скорина, В.В. Комплексная оценка параметров адаптивной способности и экологической стабильности генотипов для селекции чеснока озимого / В.В. Скорина, Вит.В. Скорина // Овощи России. – Москва, 2023. - №4. - С. 58-61. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-58-61>

11. Якимова, О.В. Экономическая эффективность производства товарного чеснока на примере одного из хозяйств Краснодарского края / О.В. Якимова, В.Э. Лазько, Е.Н. Благородова // Рисоводство. – Краснодар, 2020. - № 4 (49). - С. 68-73.

REFERENCES

1. Azopkova, M.A. Application of the in vitro method for obtaining a healthy planting material of winter garlic / M.A. Azopkova, T.M. Seredin, I.V. Muravyeva, S.V. Zharkova // Bulletin of the Altai State Agrarian University.- Barnaul, 2023. - № 3 (221). - P. 11-15.
2. Azopkova, M.A. The use of in vitro technology in the breeding of winter garlic (*Allium sativum* L.) for resistance to soil acidity / M.A. Azopkova // News of the FNCO. – Moscow, 2023.- № 2. -P. 26-32.
3. Results of 2022: Import and export of plant products, international cooperation in the field of plant quarantine and seed production (electronic version) [electronic resource] // Rosselkhoznadzor: ofic. website. URL: <https://fsvps.gov.ru/ru/fsvps/news/215586.html> (date of appeal: 03/18/2023).
4. Komissarov, V.A. In the culture of garlic – a scientific basis / V.A. Komissarov // Potatoes and vegetables. Moscow, 1963. - № 11. -P. 22-24.
5. Pleshakov, T.I. Viruses of onion and garlic: diagnostics and prophylaxis / T.I. Pleshakov, N.N. Kokareka // Potatoes and vegetables. – Moscow, 2013. - № 6. - P. 13-14.
6. Polushkina, T.M. State regulation of agriculture in the food security system. Society: politics, economics, law. 2023. - № 3(116). - P. 64-69
7. Razin, O.A. The market for the production of white cabbage as an element of food security / O.A. Razin, T.N. Surikhina T.N. // Oeconomia et Jus. – Cheboksary, 2023. - № 4. - P. 33-49.
8. Soldatenko, A.V. Selection and seed production of vegetable crops – on an innovative path development / A.V. Soldatenko, V.F. Pivovarov, O.N. Pyshnaya, etc. // Vegetables of Russia. – Moscow, 2023. - № 1. – P. 5-13.
9. Seredin, T.M. The elemental composition of winter garlic (*Allium sativum* L.) of VNISSOK breeding varieties / T.M. Seredin, A.F. Agafonov, L.I. Gerasimova, L.V. Krivenkov // Vegetables of Russia. – Moscow, 2015. - № 3 (28). - P. 81-85. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2015-3-4-81-85>
10. Skorina, V.V. A comprehensive assessment of the parameters of adaptive ability and ecological stability of genotypes for breeding winter garlic / V.V. Skorina, V.V. Skorina // Vegetables of Russia. – Moscow, 2023. - № 4. – P. 58-61. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-4-58-61>
11. Yakimova, O.V. Economic efficiency of commercial garlic production on the example of one of the farms of the Krasnodar Territory / O.V. Yakimova, V.E. Lazko, E.N. Nobelova // Rice growing. – Krasnodar, 2020. - № 4 (49). - P. 68-73.

Татьяна Николаевна Сурихина

Научный сотрудник отдела экономики и прогнозов
E-mail: 9153756862@mail.ru

Tatyana Nikolaevna Surikhina

Researcher at the Department of Economics and Forecasts
E-mail: 9153756862@mail.ru

Марина Александровна Азопкова

Научный сотрудник сектора агроботехнологий лаборатории репродуктивной биотехнологии предбридингового центра
E-mail: tixanish@mail.ru

Marina Aleksandrovna Azopkova

Researcher, Agrobiotechnology Sector of the Laboratory of Reproductive Biotechnology of the pre-breeding center
E-mail: tixanish@mail.ru

Все: Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства
Россия, Московская область, д. Верея, стр.500

All: Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Growing
p. 500, Vereya village, Moscow region, Russia

DOI 10.33775/1684-2464-2024-63-2-92-97
УДК 633.18:631.527

Зеленская О.В., канд. биол. наук
г. Краснодар, Россия

«ЗЕЛЕНый СУПЕР РИС» – НОВАЯ СТРАТЕГИЯ ЭКОЛОГИЗАЦИИ РИСОВОДСТВА (ОБЗОР)

Рис является одной из важнейших сельскохозяйственных культур в мировом масштабе. Его производство лежит в основе продовольственной безопасности всех азиатских и многих африканских стран. Глобальные экологические проблемы, такие как рост населения, химическое загрязнение биосферы, дефицит воды для орошения, опустынивание земель и деградация почв привели к необходимости разработки новой экологической стратегии в производстве сельскохозяйственных культур, в том числе в рисоводстве. С этой целью учеными Международного института риса (Филиппины) и Китая был предложен проект «Зеленый супер рис» для реализации в странах Азии и Африки. Он основан на энергосберегающей, ресурсосберегающей и низкочастотной технологии возделывания риса с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду при сохранении уровня урожайности культуры. В основе создания новых сортов «Зеленого супер риса» – использование достижений в области функциональной геномики риса и генетического разнообразия. Наличие в мировых коллекциях генетических ресурсов риса, обладающих такими хозяйственно ценными признаками как высокая урожайность, отличное качество зерна, устойчивость к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды позволило начать реализацию этой программы. Интеграция функциональной геномики и поэтапного фенотипического отбора в стратегию интрогрессивной селекции привела к созданию перспективных высокоурожайных сортов риса для экологически безопасного возделывания культуры, в том числе в стрессовых условиях среды. Проект поддержан международной системой финансирования и находится в стадии внедрения в азиатских и африканских странах. Его реализация будет способствовать решению продовольственной проблемы во многих странах мира, где рис является основным продуктом питания населения.

Ключевые слова: рисоводство, Зеленый супер рис, функциональная геномика, селекция, урожайность, устойчивость к факторам среды, экология.

“GREEN SUPER RICE” – A NEW STRATEGY FOR ECOLOGIZATION OF RICE CULTIVATION (REVIEW)

Rice is one of the most important agricultural crops globally. Its production underlies the food security of all Asian and many African countries. Global environmental problems such as population growth, chemical pollution of the biosphere, water shortage for irrigation, desertification and soil degradation have led to the need to develop a new environmental strategy in the production of agricultural crops, including rice growing. To this end, scientists from the International Rice Institute (Philippines) and China proposed the “Green Super Rice” project for implementation in Asia and Africa. It is based on energy- and resource-saving and low-cost rice cultivation technology with the aim of reducing the negative impact on the environment while maintaining crop yield levels. The creation of new varieties of “Green Super Rice” is based on the use of advances in the field of functional rice genomics and genetic diversity. The presence in world collections of rice genetic resources with such economically valuable traits as high yield, excellent grain quality, and resistance to unfavorable biotic and abiotic environmental factors made it possible to begin the implementation of this program. The integration of functional genomics and step-by-step phenotypic selection into the introgressive breeding strategy has led to the creation of promising high-yielding rice varieties for environmentally safe cultivation of the crop, including under stressful environmental conditions. The project is supported by an international funding system and is being implemented in Asian and African countries. Its implementation will help solve the food problem in many countries of the world where rice is the main food product of the population.

Key words: rice growing, Green Super Rice, functional genomics, selection, productivity, resistance to environmental factors, ecology.

Рис (*Oryza sativa* L.) является одной из важнейших культур тропического земледелия. По происхождению, занимаемой площади и объемам производства он традиционно считается азиатской культурой, но широко распространен в Африке и Латинской Америке, где является одним из главных продуктов питания для населения [3]. В странах умеренного климата также выращивают рис, но на меньших площадях по механизированным

технологиям. Здесь он является одной из многих сельскохозяйственных культур и стратегического значения для решения продовольственной проблемы стран не имеет [1].

Рис наряду с пшеницей и кукурузой способствовал аграрной «Зеленой революции» в 1940-х – 1970-х гг. XX века. Благодаря ее достижениям была преодолена угроза голода для беднейших стран Азии и Африки [20]. В развивающихся странах «Зе-

леная революция» способствовала становлению и развитию сельскохозяйственного производства на современной основе. Это привело к увеличению производительности труда и доходов фермеров, повышению требований к неквалифицированной рабочей силе на фермах и снижению цен для потребителей, что повлияло на глобальное производство продовольствия и снижение нищеты [21].

Внедрение и распространение улучшенных полугарликовых сортов риса, таких как IR-8 и IR-36, связанных с «Зеленой революцией», являются свидетельством успеха селекционеров. Такие сорта нового морфотипа имели пониклую метелку, длинное зерно и вертикальный флагвый лист [15]. Урожай риса неуклонно увеличивался из-за массового использования удобрений, выращивания высокоурожайных сортов интенсивного типа и достаточного количества оросительной воды. В результате мировое производство риса во время «Зеленой революции» и после нее увеличилось более чем в два раза [20].

К негативным последствиям аграрной революции относят чрезмерное и неправильное использование агрохимикатов, избыточное извлечение грунтовых вод и воздействие производства риса на эмиссию в атмосфере парниковых газов, таких как метан. Все это привело к обострению важных проблем охраны окружающей среды в основных зонах рисоводства.

В 1988 г. специалисты Международного института риса (IRRI) подготовили стратегический документ «IRRI до 2020 г. и далее». В нем были обозначены приоритетные научные направления и одно из них – это создание нового генетического материала с высоким потенциалом урожайности. Была предложена концепция нового типа растения (New Plant Type) для увеличения потенциала урожайности на 20 %. К 2000 г. сорта риса, созданные в IRRI, при выращивании в оптимальных условиях тропической зоны, были способны формировать урожай до 10-11 т/га, при $K_{\text{хоз}}$ около 0,5. При этом у большинства таких сортов было мелкое зерно: масса 1000 зерен составляла 20-24 г [14]. Селекция, проводимая в IRRI, на дальнейшее повышение урожайности до 15 т/га сортов нового морфотипа не дала ожидаемых результатов [2].

На следующем этапе развития мирового рисоводства с середины 1970-х гг. значительный рост урожайности произошел после создания и широкого внедрения гибридного риса в Китае и других странах. Китайские ученые добились ощутимых успехов при создании сортов так называемого «Супер риса». Применение таких селекционных подходов, как изменение архитектоники растений и использование межвидовых гибридов между двумя основными подвидами риса *indica* и *japonica* способствовало выведению высокоурожайных сортов и гибридов [12, 27]. В результате произошло повышение урожайности

риса в Китае с 2,1 т/га в 1961 г. до 6,7 т/га в 2013 г. Однако внедрение этих сортов и гибридов сопровождалось значительным увеличением внесения азотных удобрений с 8 до 35 % от общего количества удобрений, используемых в мире [23]. Это негативно сказалось на состоянии окружающей среды. Кроме того, поскольку главным приоритетом было обеспечение высокой урожайности, увеличение производства продуктов питания из таких сортов потребовало больших затрат.

Для решения возникших задач в конце 1990-х гг. китайские ученые-аграрии пришли к единому мнению относительно второй «Зеленой революции», целью которой было бы увеличение производства при одновременном сокращении затрат и улучшении состояния окружающей среды. Вторая «Зеленая революция» была направлена на массовое производство полезных и доступных по цене продуктов питания для постоянно растущего населения при меньшем количестве ресурсов [26].

К концу XX века четко обозначились глобальные экологические проблемы. Демографическая проблема связана с ростом населения преимущественно в азиатских и африканских странах. Опустынивание земель вызвано ростом площадей распаханных земель, деградацией почв и снижением их плодородия, высокой степенью эрозии почвы. Еще одной важнейшей проблемой является глобальное загрязнение всех сред жизни: атмосферы, гидросферы, литосферы. Это связано с усилением антропогенного воздействия, в том числе в сельскохозяйственном производстве. Применение интенсивных технологий, химизация производства привели к загрязнению окружающей среды в связи с использованием все больших доз минеральных удобрений при сокращении применения органических, внедрением все более токсичных средств защиты растений, отсутствием мер по восстановлению плодородия пахотных земель.

Наиболее остро проблема нехватки продовольствия на фоне сокращения пригодных для возделывания сельскохозяйственных культур земель и загрязнения окружающей среды стоит, как и ранее, в странах Азии и Африки. В связи с этим и возникла необходимость разработки новой экологической стратегии, прежде всего в рисоводстве как ведущей отрасли растениеводства [5, 25].

Стратегия селекции «Зеленого супер риса» – «Green Super Rice» (GSR) была предложена китайскими учеными в 2005 г. для создания исходного селекционного материала методами биотехнологии с мультиустойчивостью к стрессовым факторам среды на основе высокой урожайности и качества зерна [24, 30].

С 2008 г. в IRRI разработали аналогичную стратегию под тем же названием GSR с целью эффективного выведения высокоурожайных селекционных линий риса, устойчивых к болезням и

вредителям, более эффективных в использовании питательных веществ и воды, чем традиционные сорта и гибриды, для различных целевых экосистем орошаемых и богарных районов азиатских и африканских стран [6, 13].

Рис является ключевой моделью для изучения геномики агроэкосистем. С помощью этой модели ученые стремятся использовать геномику для производства достаточного количества продовольствия, чтобы прокормить растущее население планеты [26]. Они изучают генетические вариации среди культурных видов риса и их диких сородичей с целью выявления локусов количественных признаков (QTLs), которые могут быть использованы для выведения нового поколения экологически чистой культуры, известной как «Зеленый супер рис» [24]. Интеграция функциональной геномики и фенотипического отбора в селекционную стратегию GSR помогла выявить перспективные сорта риса, а также понять молекулярно-генетические и физиологические механизмы, которые лежат в основе проявления хозяйственно ценных признаков. При создании GSR, наряду с фенотипическим отбором методом педигри, ученые широко использовали беккроссирование для интрогрессии целевых генов с использованием маркеров ДНК, QTL-картирование, пирамидирование и рекуррентный отбор [17]. Полученные генотипы GSR имели преимущество в урожайности над обычными сортами в 31-36 % и были пригодны для выращивания риса в неблагоприятных условиях среды [18].

Проект GSR имеет пять основных направлений [29]:

1. Разработка и усовершенствование теоретических и технических систем для селекции сортов GSR. Эти системы и технологии применяются на популяционном, индивидуальном и геномном уровнях. Разработана стратегия объединения геномов и целевых признаков различных ресурсов зародышевой плазмы для выведения новых сортов.

2. Создание платформ полногеномной селекции, основанных на последних результатах исследований функциональной геномики риса по всему миру.

3. Селекция новой генплазмы путем пирамидирования генов целевых признаков с последующими отборами методом педигри и беккроссированием [9]. Основной задачей селекционеров является создание исходного материала, устойчивого к многочисленным абиотическим (в первую очередь к засухе и засолению) и биотическим стрессам, с высокой эффективностью использования воды и питательных веществ, а также высокой урожайностью и качеством зерна [6].

4. Выведение новых сортов GSR (как инбредных, так и гибридных) с различными комбинациями целевых признаков, повышающих урожайность и качество зерна.

5. Внедрение инновационных технологий выра-

щивания высоких урожаев риса и системы менеджмента на рисовых полях.

Согласно разработанной концепции по внедрению сортов GSR, каждый из них предназначен для конкретной экологической зоны выращивания риса. В соответствии с этим выделяют 4 основных типа сортов GSR [24, 25]:

- засухоустойчивые сорта, которые имеют такую же или лучшую урожайность и качество зерна, как и традиционные сорта при нормальных условиях орошения, а в условиях дефицита воды или засухи их урожайность составляет не менее 30 % от нормы;

- сорта с эффективным использованием питательных веществ, которые при уменьшении на 30 % дозы внесения удобрений (азота и/или фосфора) демонстрируют такую же или лучшую урожайность и качество зерна, как и традиционные сорта;

- устойчивые к вредителям сорта, которые проявляют устойчивость к одному или нескольким вредителям при сокращении применения пестицидов на 30 % и более;

- стрессоустойчивые сорта (холодостойкие, жаростойкие, устойчивые к засолению), которые имеют такую же или лучшую урожайность и качество зерна, как у традиционных сортов в нестрессовых условиях. В условиях же стресса урожайность таких сортов не менее чем на 30 % выше, чем у традиционных сортов.

Стратегии выведения сортов GSR с использованием мультиомики (геномики, эпигенетики, протеомики и т.д.) направлены не только на повышение эффективности селекции, но и на ускорение коммерческого использования сортов в производстве [11]. Технология редактирования генома становится ключевой для геномной селекции благодаря своим преимуществам: высокой эффективности, низкой стоимости и безопасности [8]. По сравнению с традиционной селекцией, это значительно повышает эффективность пирамидирования целевых генов и позволяет создавать более разнообразные генетические ресурсы с высокой урожайностью, превосходным качеством зерна и устойчивостью к различным стрессам.

Для дальнейшего продвижения сортов GSR, их демонстрации и популяризации создана международная сеть сотрудничества с участием IRRRI и AfricaRice. Учеными разрабатываются специальные программы технического обучения фермеров с целью ознакомить их с методами выращивания таких сортов и с экологической концепцией нового направления в рисоводстве [25].

Международный институт риса (IRRI) совместно с Китайской академией сельскохозяйственных наук (CAAS) и Фондом Билла и Мелинды Гейтс (BMGF) с 2008 г. совместно финансируют и проводят исследования для разработки новых сортов GSR, которые хорошо зарекомендовали себя в самых слож-

ных условиях среды. В настоящее время более 130 новых селекционных линий GSR, пригодных для выращивания в стрессовых для культуры риса условиях среды по низкозатратным технологиям проходят национальные сортовые испытания и, как ожидается, будут признаны в разных странах в качестве новых сортов. По состоянию на август 2017 г. было выведено 42 сорта GSR, которые переданы на испытания в 11 стран Южной Азии, Юго-Восточной Азии, Восточной и Южной Африки. Эти сорта заняли более 1,7 млн га сельскохозяйственных угодий. Восемнадцать из них были выведены в IRRI [31].

В Пакистане, Вьетнаме, Индонезии, Бутане, Мозамбике и других странах в ходе полевых испытаний были получены первые положительные результаты. Целью изучения «Зеленого супер риса» в условиях Пакистана является создание и внедрение сортов риса с высоким потенциалом урожайности и устойчивых к различным условиям среды, в том числе к засолению почвы [7, 28]. Сорта GSR со стабильными показателями урожайности, обладающие мультиустойчивостью и высокой адаптивностью к широкому спектру экологических условий, созданные в Китае и в IRRI, были испытаны в 12 экологических центрах по выращиванию риса в четырех провинциях Пакистана. По результатам исследований из 20 изученных было выбрано для дальнейшего использования в национальных селекционных программах 8 сортов GSR, показавших урожайность 8 т/га и более в разных экологических условиях [4].

При испытаниях сортов GSR 65 и GSR 90 во Вьетнаме на участках интенсивного земледелия они дали среднюю урожайность 7,98 и 8,17 т/га, что на 12-15 % выше, чем местные сорта. При этом сорта GSR отличались повышенной устойчивостью к вредителям и хорошим качеством зерна [19].

В Индонезии сорта GSR Inpari 42 и Inpari 43 выращивали на фермерских полях на заболоченных землях, затопляемых приливами и отличающихся кислой почвой (рН 4,0), что является стрессовым фактором для риса. Сочетание устойчивости этих сортов к неблагоприятным условиям среды с агро-техническими мероприятиями по внесению в почву 5 т/га отходов рисовой соломы с добавлением 0,5-1 т/га доломитовой муки позволило получить стабильный урожай риса 4,8-5,6 т/га и изменить кислотность почвы до 4,2 [22].

Сорок сортов GSR для богарного земледелия селекции IRRI были оценены в соответствии со стандартной системой оценки сортов полевых культур в Бутане с 2013 по 2017 год. По результатам оценки было отобрано шесть сортов GSR, которые были признаны лучшими для данных условий среды. Урожайность трех изучаемых новых сортов была стабильной по годам и составила 3,96-4,20 т/га, превзойдя местный сорт неорошаемого риса Bhur Kambja 1 [10].

В Мозамбике сорта GSR испытывали в условиях сильного стресса при выращивании без орошения и внесения удобрений в малых фермерских хозяйствах и признали их перспективными и экономически эффективными [16].

Новая стратегия создания и продвижения в производство сортов «Зеленого супер риса» направлена на решение продовольственной проблемы для многих стран Азии и Африки, где рис является основным продуктом питания населения и возделывается фермерами на небольших участках при минимальных затратах [26]. Она соответствует концепции устойчивого развития, способствует внедрению ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий в рисоводстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленский, Г.Л. Рис: от растения до диетического продукта: монография / Г.Л. Зеленский, О.В. Зеленская. – Краснодар: КубГАУ, 2022. – 272 с.
2. Зеленский, Г.Л. Селекция риса на повышение его продуктивности. Обзор / Г.Л. Зеленский, О.В. Зеленская // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2024. – Т. 185. – Вып. 1. – С. 212-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-212-223
3. Ляховкин, А.Г. Рис. Мировое производство и генофонд / А.Г. Ляховкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: «ПРОФИ-ИНФОРМ», 2005. – 288 с.
4. Ahmed, M.S. Country-wide, multi-location trials of Green Super Rice lines for yield performance and stability analysis using genetic and stability parameters / M.S. Ahmed, A. Majeed, K.A. Attia et al. // Scientific reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 9416. DOI: 10.1038/s41598-024-55510-x
5. Ali, J. Molecular genetics and breeding for nutrient use efficiency in rice / J. Ali, Z.A. Jewel, A. Mahender, A. Anandan, J. Hernandez, Z. Li // International Journal of Molecular Sciences. – 2018. – Vol. 19. – Is. 6. – P. 1762. DOI: 10.3390/ijms19061762
6. Ali, J. Green Super Rice (GSR) traits: Breeding and genetics for multiple biotic and abiotic stress tolerance in rice / J. Ali, M. Anumalla, V. Murugaiyan, Z. Li // Rice improvement: Physiological, molecular breeding and genetic perspectives. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 59-97.
7. Amanat, M.A. Evaluation of Green Super Rice Lines for Agronomic and Physiological Traits under Salinity Stress / M.A. Amanat, M.K. Naeem, H.I.M. Algwaiz, M. Uzair, K.A. Attia, M.D.F. AlKathani, I.U. Zaid, S.A. Zafar, S. Inam, S. Fiaz et al. // Plants. – 2022. – Vol. 11. – Is. 11. – P. 1461. DOI: 10.3390/plants11111461
8. Chen, K. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture / K. Chen, Y. Wang, R. Zhang, H. Zhang, C. Gao // Annu Rev Plant Biol. – 2019. – Vol. 70. – P. 667-697. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050718-100049
9. Chen, S.X. Genome-wide study of an elite rice pedigree reveals a complex history of genetic architecture for breeding improvement / S.X. Chen, Z.C. Lin, D.G. Zhou, C.R. Wang, H. Li, R.B. Yu, H.C. Deng et al. // Scientific reports. – 2017. – Vol. 7. – №. 1. – P. 45685. DOI: 10.1038/srep45685

10. Dendup, C. Evaluation of Green Super Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties at ARDC Samtenling / C. Dendup, S. Dorji, S. Tshomo, L. Tshering // *Bhutanese Journal of Agriculture*. – 2020. – Vol. 2. – Is. 1. – P. 87-98.
11. Gao, L. Comparison of total factor productivity of rice in China and Japan / L. Gao, Q. Gao, M. Lorenc // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – Is. 12. – P. 7407. DOI: 10.3390/su14127407
12. He, Q. Hybrid rice / Q. He, H. Deng, P. Sun, W. Zhang, F. Shu, J. Xing, Z. Peng // *Engineering*. – 2020. – Vol. 6. – Is. 9. – P. 967-973. DOI: 10.1016/j.eng.2020.08.005
13. Jewel, Z.A. Developing green super rice varieties with high nutrient use efficiency by phenotypic selection under varied nutrient conditions / Z.A. Jewel, J. Ali, Y. Pang, A. Mahender, B. Acero, J. Hernandez, J. Xu, Z. Li // *Crop Journal*. – 2019. – Vol. 7. – P. 368-377. DOI: 10.1016/j.cj.2019.01.002
14. Khush, G.S. The history of rice breeding: IRRI's contribution / G.S. Khush, W.R. Coffman, H.M. Beachell // In: W.G. Rockwood (ed). *Rice research and production in the 21st century: symposium honoring R.F. Chandler, Jr.* – Los Baños (Philippines): IRRI, 2001. – P. 117-135.
15. Khush, G.S. IR varieties and their impact / G.S. Khush, P.S. Virk. – Los Baños (Philippines): IRRI, 2005. – 163 p.
16. Kodama, W. Assessing the benefits of green super rice in Sub-Saharan Africa: Evidence from Mozambique / W. Kodama, V.O. Pede, A.K. Mishra, R.P. Cuevas, A. Ndayiragije, E.R. Cabrera, M. Langa, J. Ali // *Q Open*. – 2022. – Vol. 2. – Is. 1. – qoac006. DOI: 10.1093/qopen/qoac006
17. Li, Z. Breeding green super rice (GSR) varieties for sustainable rice cultivation / Z. Li, J. Ali // In: T. Sasaki (ed). *Achieving sustainable cultivation of rice*. – Washington: Burleigh Dodds Science Publishing, 2017. – P. 208-218. DOI: 10.19103/AS.2016.0003.05
18. Marcaida, M. Biomass accumulation and partitioning of newly developed Green Super Rice (GSR) cultivars under drought stress during the reproductive stage / M. Marcaida, T. Li, O. Angeles, G.K. Evangelista, M.A. Fontanilla, J. Xu et al. // *Field Crops Research*. – 2014. – Vol. 162. – P. 30-38. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.03.013
19. Nguyen, T.T. Selection of green super rice (GSR) with high yield, good qualities, and adaptation to climate condition in Phu Yen province (Part two) / T.T. Nguyen, T.D. Nguyen, L. Hoang, M.T.T. Nguyen, T.T. Pham, T.T. Dam, K. Hoang, Z. Tian-Qing, L. Zhikang // *The Journal of Agriculture and Development*. – 2018. – Vol. 17. – Is. 4. – P. 44-52. DOI: 10.52997/jad.5.04.2018
20. Pingali, P.L. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead / P.L. Pingali // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2012. – V. 109. – Is. 31. – P. 12302-12308. DOI: 10.1073/pnas.0912953109
21. *Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security* // Edited by S. Pandey, D. Byerlee, D. Dawe, A. Dobermann, S. Mohanty, S. Rozelle, and B. Hardy. – IRRI, 2010. – 487 p.
22. Susilawati, A. The use of green super rice varieties and harvest waste in sustainable rice farming in tidal lands / A. Susilawati, Syamsuddin, R. Qomariah // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 2021. – № 648. – P. 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/648/1/012037
23. Wang, F. Yield potential and nitrogen use efficiency of China's super rice / F. Wang, S. Peng // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2017. – Vol. 16. – Is. 5. – P. 1000-1008. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61561-7
24. Wing, R.A. The rice genome revolution: from an ancient grain to Green Super Rice / R.A. Wing, M.D. Purugganan, Q. Zhang // *Nature Reviews Genetics*. – 2018. – Vol. 19. – P. 505-517. DOI: 10.1038/s41576-018-0024-z
25. Yu, S. Genomic Breeding of Green Super Rice Varieties and Their Deployment in Asia and Africa / S. Yu, J. Ali, C. Zhang, Z. Li, Q. Zhang // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2020. – Vol. 133. – P. 1427-1442. DOI: 10.1007/s00122-019-03516-9
26. Yu, S. From Green Super Rice to green agriculture: Reaping the promise of functional genomics research / S. Yu, J. Ali, S. Zhou, G. Ren, H. Xie, J. Xu et al. // *Mol Plant*. – 2022. – Vol. 15. – Is. 1. – P. 9-26. DOI: 10.1016/j.molp.2021.12.001
27. Yuan, L. Progress in super-hybrid rice breeding / L. Yuan // *The Crop Journal*. – 2017. – Vol. 5. – Is. 2. – P. 100-102. DOI: 10.1016/j.cj.2017.02.001
28. Zaid, I.U. Morphological evaluation of green super rice for yield and yield-related traits under agro ecological conditions of Pakistan / I.U. Zaid, M.K. Naeem, N. Zahra, S.A. Zafar, S.A. Naveed, G.M. Ali, M.R. Khan // *Pakistan Journal of Agricultural Science*. – 2022. – Vol. 59. – Is. 3. – P. 477-484. DOI:10.21162/PAKJAS/22.62
29. Zhang, C.P. Recent advances in Green Super Rice development / C.P. Zhang, S.B. Yu, Q. Zhang // *Chin Bull Life Sci.* – 2018. – № 30. – P. 1083-1089.
30. Zhang, Q. Strategies for developing Green Super Rice / Zhang, Q. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. – 2007. – Vol. 104. – Is. 42. – P. 16402-16409. DOI: 10.1073/pnas.0708013104
31. <http://gsr.irri.org>

REFERENCES

1. Zelensky, G.L. Rice: from plant to dietary product: monograph / G.L. Zelensky, O.V. Zelenskaya. – Krasnodar: KubGAU, 2022. – 272 p.
2. Zelensky, G.L. Rice breeding to increase its productivity. Review / G.L. Zelensky, O.V. Zelenskaya // *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Selection*. – 2024. – V. 185. – Is. 1. – P. 212-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-212-223
3. Lyakhovkin, A.G. Rice. World production and gene pool / A.G. Lyakhovkin. – 2nd ed., revised. and add. – SPb.: "PROFI-INFORM", 2005. – 288 p.
4. Ahmed, M.S. Country-wide, multi-location trials of Green Super Rice lines for yield performance and stability analysis using genetic and stability parameters / M.S. Ahmed, A. Majeed, K.A. Attia et al. // *Scientific reports*. – 2024. – Vol. 14. – P. 9416. DOI: 10.1038/s41598-024-55510-x
5. Ali, J. Molecular genetics and breeding for nutrient use efficiency in rice / J. Ali, Z.A. Jewel, A. Mahender, A. Anandan, J. Hernandez, Z. Li // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2018. – Vol. 19. – Is. 6. – P. 1762. DOI: 10.3390/ijms19061762
6. Ali, J. Green Super Rice (GSR) traits: Breeding and genetics for multiple biotic and abiotic stress tolerance in rice / J. Ali, M. Anumalla, V. Murugaiyan, Z. Li // *Rice improvement: Physiological, molecular breeding and genetic perspectives*. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – P. 59-97.
7. Amanat, M.A. Evaluation of Green Super Rice Lines for Agronomic and Physiological Traits under Salinity Stress

- / M.A. Amanat, M.K. Naeem, H.I.M. Algwaiz, M. Uzair, K.A. Attia, M.D.F. AlKathani, I.U. Zaid, S.A. Zafar, S. Inam, S. Fiaz et al. // *Plants*. – 2022. – Vol. 11. – Is. 11. – P. 1461. DOI: 10.3390/plants11111461
8. Chen, K. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture / K. Chen, Y. Wang, R. Zhang, H. Zhang, C. Gao // *Annu Rev Plant Biol*. – 2019. – Vol. 70. – P. 667-697. DOI: 10.1146/annurev-arplant-050718-100049
9. Chen, S.X. Genome-wide study of an elite rice pedigree reveals a complex history of genetic architecture for breeding improvement / S.X. Chen, Z.C. Lin, D.G. Zhou, C.R. Wang, H. Li, R.B. Yu, H.C. Deng et al. // *Scientific reports*. – 2017. – Vol. 7. – №. 1. – P. 45685. DOI: 10.1038/srep45685
10. Dendup, C. Evaluation of Green Super Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties at ARDC Samtenling / C. Dendup, S. Dorji, S. Tshomo, L. Tshering // *Bhutanese Journal of Agriculture*. – 2020. – Vol. 2. – Is. 1. – P. 87-98.
11. Gao, L. Comparison of total factor productivity of rice in China and Japan / L. Gao, Q. Gao, M. Lorenc // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – is. 12. – P. 7407. DOI: 10.3390/su14127407
12. He, Q. Hybrid rice / Q. He, H. Deng, P. Sun, W. Zhang, F. Shu, J. Xing, Z. Peng // *Engineering*. – 2020. – Vol. 6. – is. 9. – P. 967-973. DOI: 10.1016/j.eng.2020.08.005
13. Jewel, Z.A. Developing green super rice varieties with high nutrient use efficiency by phenotypic selection under varied nutrient conditions / Z.A. Jewel, J. Ali, Y. Pang, A. Mahender, B. Acero, J. Hernandez, J. Xu, Z. Li // *Crop Journal*. – 2019. – Vol. – 7. – P. 368-377. DOI: 10.1016/j.cj.2019.01.002
14. Khush, G.S. The history of rice breeding: IRRI's contribution / G.S. Khush, W.R. Coffman, H.M. Beachell // In: W.G. Rockwood (ed). *Rice research and production in the 21st century: symposium honoring R.F. Chandler, Jr.* – Los Baños (Philippines): IRRI, 2001. – P. 117-135.
15. Khush, G.S. IR varieties and their impact / G.S. Khush, P.S. Virk. – Los Baños (Philippines): IRRI, 2005. – 163 p.
16. Kodama, W. Assessing the benefits of green super rice in Sub-Saharan Africa: Evidence from Mozambique / W. Kodama, V.O. Pede, A.K. Mishra, R.P. Cuevas, A. Ndayiragije, E.R. Cabrera, M. Langa, J. Ali // *Q Open*. – 2022. – Vol. 2. – Is. 1. – qoac006. DOI: 10.1093/qopen/qoac006
17. Li, Z. Breeding green super rice (GSR) varieties for sustainable rice cultivation / Z. Li, J. Ali // In: T. Sasaki (ed). *Achieving sustainable cultivation of rice*. – Washington: Burleigh Dodds Science Publishing, 2017. – P. 208-218. DOI: 10.19103/AS.2016.0003.05
18. Marcaida, M. Biomass accumulation and partitioning of newly developed Green Super Rice (GSR) cultivars under drought stress during the reproductive stage / M. Marcaida, T. Li, O. Angeles, G.K. Evangelista, M.A. Fontanilla, J. Xu et al. // *Field Crops Research*. – 2014. – Vol. 162. – P. 30-38. DOI: 10.1016/j.fcr.2014.03.013
19. Nguyen, T.T. Selection of green super rice (GSR) with high yield, good qualities, and adaptation to climate condition in Phu Yen province (Part two) / T.T. Nguyen, T.D. Nguyen, L. Hoang, M.T.T. Nguyen, T.T. Pham, T.T. Dam, K. Hoang, Z. Tian-Qing, L. Zhikang // *The Journal of Agriculture and Development*. – 2018. – Vol. 17. – Is. 4. – P. 44-52. DOI: 10.52997/jad.5.04.2018
20. Pingali, P.L. Green revolution: impacts, limits, and the path ahead / P.L. Pingali // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2012. – V. 109. – Is. 31. – P. 12302-12308. DOI: 10.1073/pnas.0912953109
21. *Rice in the Global Economy: Strategic Research and Policy Issues for Food Security* // Edited by S. Pandey, D. Byerlee, D. Dawe, A. Dobermann, S. Mohanty, S. Rozelle, and B. Hardy. – IRRI, 2010. – 487 p.
22. Susilawati, A. The use of green super rice varieties and harvest waste in sustainable rice farming in tidal lands / A. Susilawati, Syamsuddin, R. Qomariah // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* – 2021. – № 648. – P. 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/648/1/012037
23. Wang, F. Yield potential and nitrogen use efficiency of China's super rice / F. Wang, S. Peng // *Journal of Integrative Agriculture*. – 2017. – Vol. 16. – Is. 5. – P. 1000-1008. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61561-7
24. Wing, R.A. The rice genome revolution: from an ancient grain to Green Super Rice / R.A. Wing, M.D. Purugganan, Q. Zhang // *Nature Reviews Genetics*. – 2018. – Vol. 19. – P. 505-517. DOI: 10.1038/s41576-018-0024-z
25. Yu, S. Genomic Breeding of Green Super Rice Varieties and Their Deployment in Asia and Africa / S. Yu, J. Ali, C. Zhang, Z. Li, Q. Zhang // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2020. – Vol. 133. – P. 1427-1442. DOI: 10.1007/s00122-019-03516-9
26. Yu, S. From Green Super Rice to green agriculture: Reaping the promise of functional genomics research / S. Yu, J. Ali, S. Zhou, G. Ren, H. Xie, J. Xu et al. // *Mol Plant*. – 2022. – Vol. 15. – Is. 1. – P. 9-26. DOI: 10.1016/j.molp.2021.12.001
27. Yuan, L. Progress in super-hybrid rice breeding / L. Yuan // *The Crop Journal*. – 2017. – Vol. 5. – Is. 2. – P. 100-102. DOI: 10.1016/j.cj.2017.02.001
28. Zaid, I.U. Morphological evaluation of green super rice for yield and yield-related traits under agro ecological conditions of Pakistan / I.U. Zaid, M.K. Naeem, N. Zahra, S.A. Zafar, S.A. Naveed, G.M. Ali, M.R. Khan // *Pakistan Journal of Agricultural Science*. – 2022. – Vol. 59. – Is. 3. – P. 477-484. DOI:10.21162/PAKJAS/22.62
29. Zhang, C.P. Recent advances in Green Super Rice development / C.P. Zhang, S.B. Yu, Q. Zhang // *Chin Bull Life Sci*. – 2018. – № 30. – P. 1083-1089.
30. Zhang, Q. Strategies for developing Green Super Rice / Zhang, Q. // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. – 2007. – Vol. 104. – Is. 42. – P. 16402-16409. DOI: 10.1073/pnas.0708013104
31. <http://gsr.irri.org>

Ольга Всеволодовна Зеленская

Доцент кафедры ботаники и общей экологии
Факультет агрономии и экологии
E-mail: zelenskayaolga-2011@mail.ru

Olga Vsevolodovna Zelenskaya

Associate Professor of the Department of Botany and
General Ecology, Faculty of Agronomy and Ecology
E-mail: zelenskayaolga-2011@mail.ru

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет им. И.Т. Трубилина»
350044, Россия, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

FSBEI HE «Kuban State Agrarian University named
after I.T. Trubilin»
13, Kalinina, Krasnodar, 350044, Russia

**ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ, ПОСВЯЩЕННОЕ 300-ЛЕТИЮ РАН,
ЗАСЕДАНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК, НАГРАЖДЕНИЯ**

**С.В. Гаркуша и А.Х. Шеуджен на Общем собрании членов РАН
Отделения сельскохозяйственных наук, 27.05.2024 г.**

Среди почетных гостей на Общем собрании, посвященном 300-летию РАН, присутствовали заместитель председателя Совета безопасности РФ Д.А. Медведев, заместитель председателя правительства РФ Д.Н. Чернышенко, первый заместитель председателя Государственной думы РФ А.Д. Жуков, заместитель председателя Совета Федерации К.И. Косачев, министр науки и высшего образования В.Н. Фальков, министр здравоохранения М.А. Мурашко, руководитель ФМБА России В. И. Скворцова.

Д.А. Медведев оценил роль Российской академии наук как ключевую в реализации крупнейших программ по обеспечению научного и технологического суверенитета России, обеспечению биологической, продовольственной и цифровой безопасности страны.

Президент РАН Г.Я. Красников подтвердил проведение работы по созданию Попечительского совета РАН для укрепления положения РАН в структуре государственных и общественных институтов, повышения ее статуса. Размер средств, которые будут выделены на фундаментальные

исследования, был утвержден на заседании Президиума РАН. Президент РАН в отчетном докладе уделил большое внимание региональной политике, так, было создано Санкт-Петербургское отделение РАН, которое уже сформировано и начало работу.

Завершилось собрание вручением наград. За достижения в разных областях отличившиеся исследователи были удостоены Большой золотой медали РАН им. М.В. Ломоносова, Большой золотой медали РАН им. Н.И. Пирогова и золотых медалей имени выдающихся ученых

Директор ФНЦ риса, член-корреспондент РАН С.В. Гаркуша и руководитель отдела прецизионных технологий ФНЦ риса, академик РАН А.Х. Шеуджен приняли участие в Общем собрании Отделения сельскохозяйственных наук и Общем собрании РАН. 27 мая 2024 года состоялось Общее собрание членов РАН Отделения сельскохозяйственных наук РАН по рассмотрению отчета за 2023 г. в красном зале Российской академии наук (Ленинский пр., 32а, зона «Д»).

17 апреля 2024 года в Комитете Торгово-промышленной палаты по развитию АПК состоялась XXVII-я церемония награждения лауреатов национальной премии имени П.А. Столыпина «Аграрная элита России-2023». Резидент Фонда национальной премии имени П.А. Столыпина Фомин Александр Анатольевич в начале заседания комитета отметил, что все девять лауреатов 2024 года связаны с землей.

Решением Общественного Совета Национальной премии имени П.А. Столыпина от 19 марта 2024 г. было присвоено звание Лауреата Национальной премии имени Петра Столыпина директору ФГБНУ «ФНЦ риса» члену-корреспонденту РАН Сергею Валентиновичу Гаркуше за вклад в развитие рисоводства. Награда явилась результатом

огромного вклада С.В. Гаркуши в повышении эффективности отрасли рисоводства в Краснодарском крае, организации науки и инфраструктуры отрасли, создании технологий и сортов.



Лауреаты Национальной премии имени П.А. Столыпина, апрель 2024 г.

24 мая состоялось Заседание Экспертной комиссии по экспертизе товаров, заявленных на XII краевой конкурс в области качества «Сделано на Кубани» в номинации «Продовольственные товары», организованное Департаментом потребительской сферы Краснодарского края и ГКУ КК «Центр развития торговли». Была проведена экспертиза товаров после предварительного ознакомления экспертов с комплектами представленных документов (ГОСТы, ТУ, сертификаты, декларации соответствия, протоколы испытаний и др.). Экспертам была представлена продовольственная группа товаров: мука, крупа рисовая, смеси для приготовления блинчиков, специалисты оценили товары производственно-технического назначения: комбикорма, лакомства сухие и вяленые для непродуктивных животных.



Эксперты по каждой позиции дали свое заключение о соответствии продукции требованиям нормативных документов по показателям безопасности и качества.

По результатам экспертной оценки, Заключение, конкурсная комиссия будет принимать решение о присвоении знака качества «Сделано на Кубани». Положительную оценку получили рисопродукты из отечественных сортов риса ООО «НИРИС» (Абинский район).



ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ АВТОРСКИХ ОРИГИНАЛОВ

К публикации принимаются ранее не опубликованные статьи на русском и английском языках. Рукописи представляются на твердом и электронном носителях или по e-mail на адрес arri_kub@mail.ru с пометкой «**В редакцию журнала**». Название файла должно содержать указание полугодия и года выпуска номера и фамилию автора латиницей, например, «**1(2014)Ivanova.doc**». Допустимые форматы файлов: **.doc, .docx, .rtf**. В отдельных случаях редакция может попросить представить отдельные файлы изображений или текст также в формате **.pdf**, либо в печатном варианте.

Структура статьи

- УДК;
- фамилия и инициалы, ученая степень автора/авторов и указание города и страны;
- название статьи, аннотация и ключевые слова на русском и английском языках;
- текст статьи;
- литература;
- информация об авторе/авторах с указанием их фамилии, имени и отчества (полностью), должности и контактных данных (информация о месте работы, почтовый адрес, e-mail, контактный телефон) на русском и английском языках.

Статью рекомендуется чётко структурировать. Примерная структура: обзор, проблема, гипотезы, материал и методы, изложение, аргументация, обсуждение, выводы. Формально структуру статьи желательно отразить в заголовках внутри текста, выделенных **полужирным** шрифтом.

В случае необходимости перевод редактируется или осуществляется редакцией журнала.

Форматирование текста

Пожалуйста, избегайте собственного форматирования. Окончательное форматирование осуществляется редакцией.

- поля: верхнее, нижнее, правое – 1,5 см, левое – 2 см; шрифт – Times New Roman, 12 кегль; интервал полуторный; абзацный отступ – 1,25 см; без переносов;
- используйте *курсив* или **полужирный курсив** для примеров, а также наиболее важных терминов и понятий;
- избегайте использования подчёркиваний;
- таблицы и рисунки должны иметь отдельную нумерацию (например, **Таблица 1**, **Рисунок 1**) и быть озаглавлены, ссылки на них обязательны в тексте статьи. Название таблиц размещается над левым верхним углом таблицы, название рисунка – под рисунком по центру;
- в случае необходимости можно использовать обычные (не концевые!) пронумерованные сноски

Оформление ссылок и списка литературы

Библиографический список приводится в конце статьи в алфавитном порядке в виде пронумерованного списка источников под названием **ЛИТЕРАТУРА**. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

- | | |
|---------------------|---|
| Книги | Сметанин, А. П. Методики опытных работ по селекции, семеноводству, семеноведению и контролю за качеством семян риса / А. П. Сметанин, В. А. Дзюба, А. И. Аprod. – Краснодар, 1972. – 156 с. Жученко, А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы): в 2 т. / А. А. Жученко. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – Т. 1. – 780 с; Т. 2. – 785 с. Ерыгин, П. С. Физиология риса / П. С. Ерыгин. – М.: Колос, 1981. – 208 с. Система рисоводства Краснодарского края / под. ред. Е. М. Харитоновна. – Краснодар, 2011. – 316 с. |
| Авторефераты | Ляховкин, А. Г. Мировой генофонд риса (<i>Oryza sativa</i> L.) в связи с проблемами селекции: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / А. Г. Ляховкин. – Ленинград, 1989. – 58 с. |
| Диссертации | Ковалев, В. С. Селекция сортов риса для Краснодарского края и Адыгеи и разработка принципов их рационального использования: дис. ... д-ра с.-х. наук в форме научного доклада : 06.01.05 : защищена 25.03.1999 / В. С. Ковалев. – Краснодар, 1999. – 49 с. |
| Газеты, журналы | Рисоводство: научно-производственный журнал / учредитель: ГНУ «ВНИИ риса» Россельхозакадемии. – 2013, № 1 (22). – Краснодар: Просвещение-Юг, 2013. – ISSN 1684-2464. |
| Статьи | Кумейко, Ю. В. Влияние ингибитора нитрификации на показатели, характеризующие режим азотного питания растений риса / Ю. В. Кумейко // Рисоводство. – Краснодар, 2013. – № 1 (22). – С. 66-70. Чижикова, Н. П. Эволюция минералогического состава и микростроения основных типов почв Кубани при рисосеянии / Н. П. Чижикова, М. П. Верба // Почвы и их плодородие на рубеже столетий: Материалы 2-го съезда Белорусского общества почвоведов. – Минск, 2001. – Кн.1. – С. 232-233. |
| Электронные ресурсы | Зеленский, Г. Л. Российские сорта риса для детского и лечебного питания [Электронный ресурс] / Г. Л. Зеленский // Научный журнал КубГАУ. – Краснодар, 2011. – № 72 (08). – Режим доступа: http://ej.kubagro.ru/2011/08/pdf/01.pdf (Дата обращения: 1.10.2014). |
| Зарубежные издания | Satake, T. High Temperature-Induced Sterility in Indica Rice in the Flowering Stage / T. Satake, S. Yoshida // Japanese Journal of Crop Science. – 1978. – № 47. – P. 6-17. |

Ссылки на зарубежные издания размещаются в алфавитном порядке, после отечественных. В тексте статьи ссылка на источник делается путем указания в квадратных скобках порядкового номера цитируемой литературы, например, [1].

Возвращение рукописи автору на доработку не означает, что статья принята к печати. После получения доработанного текста рукопись вновь рассматривается редколлегией. Доработанный текст необходимо вернуть вместе с ответом на все замечания рецензента. Датой поступления считается день получения редакцией финального варианта статьи.

Редколлегия сборника оставляет за собой право отклонять статьи, оформление и/или содержание которых не соответствует изложенным требованиям, а также статьи, получившие отрицательные оценки рецензентов.

Очередность публикации принятых материалов устанавливается в соответствии с внутренним планом редакции.

FORMATTING REQUIREMENTS

Preparing the manuscript

Editorial address

Please send your manuscripts as an e-mail attachment to the following address: **arri_kub@mail.ru**,
“**Attn. Editors of the Magazine**”.

Languages

Manuscripts can be written in English or in Russian. In view of academic globalization, English articles are especially welcome.

File format

Please prepare the text of your manuscript and submit it as a **.doc, .docx, .rtf file**. Sometimes we may ask for a **.pdf** file for our reference, or for separate **.jpg** files.

Manuscript materials should be ordered as follows:

- authors' names, academic credentials, city and country;
- abstract of approximately 100 words and its Russian translation 5-7 key words;
- body of work;
- list of references and sources;
- information about the authors including full names, affiliation and contacts including mailing and e-mail addresses;
- If needed, translation can be effected by the editors.

Basic formatting

- Do not format the text, use standard paper size to A4
 - Set line spacing to 1.5
 - Use the same font (Times New Roman, point 12) throughout the document
 - Use *italics* or **boldface italics** to draw the readers' attention to particular aspects of the text
 - Tables and figures should be numbered separately (**Table 1, Figure 1, etc.**)
 - Use footnotes
- Final formatting will be done by the editors.

Bibliographical references

At the end of the manuscript, provide a full bibliography with the heading: **REFERENCES**.

Arrange the entries **alphabetically** by surnames of authors.

Some examples of references are given below.

- Books and monographs Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia / edited by R. B. Matthews, M. J. Kroppf, D. Bachelet, H. H. van Laar. – Wallingford: CAB INTERNATIONAL. – 289 p.
Yoshida, S. Fundamentals of Rice Crop Science / S. Yoshida. – Los Banos, 1981. – 269 pp.
- Journal articles Satake, T. High Temperature-Induced Sterility in Indica Rice in the Flowering Stage / T. Satake, S. Yoshida // Japanese Journal of Crop Science. – 1978. – № 47. – P. 6-17
- Online sources Vaghefi, N. The Economic Impacts of Climate Change on the Rice Production in Malaysia [Electronic source] / N. Vaghefi, M. Nasir Shamsudin, A. Makmom, M. Bagheri // International Journal of Agricultural Research. – 2011. – Vol. 6, Issue 1. – Pp. 67-74. – Access mode: <http://scialert.net/abstract/?doi=ijar.2011.67.74> (Accessed 1.10.2014).

References in the text and in the footnotes should include the number of the publication as in the references list enclosed in square brackets, Eg.: [1].

Подписано в печать 10.06.2023
Формат 60*84/8
Бумага офсетная
Усл. печатн. листов 24,5
Заказ № 1694. Тираж 500 экз.

Тираж изготовлен в типографии
ИП Копыльцов П.И.,
394052, г. Воронеж,
ул. Маршала Неделина, д. 27, кв. 56.