
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

Т. 17, № 6. 2025 год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Аграрный научный центр «Донской»,
член Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ).
Издается с января 2009 г.

Пахомов В.И. – главный редактор, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор (Зерноград, Россия);
Калинина Н.В. – зам. главного редактора (Зерноград, Россия);
Шарова С.Ю. – тех. секретарь (Зерноград, Россия).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Баталова Г.А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (Киров, Россия);
Беспалова Л.А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Волкова Г.В. – чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, ФГБНУ «ФНЦБЗР» (Краснодар, Россия);
Гончаренко А.А. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Давлетов Ф.А. – д-р с.-х. наук, Башкирский НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН (Уфа, Россия);
Долженко В.И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ВИЗР» (Санкт-Петербург, Россия);
Дубина Е.В. – д-р биол. наук, проф. РАН, ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодар, Россия);
Зезин Н.Н. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (Екатеринбург, Россия);
Клыков А.Г. – академик РАН, д-р биол. наук, проф. РАН,
ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (Уссурийск, Россия);
Костылев П.И. – д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Лобачевский Я.П. – академик РАН, д-р техн. наук, проф. РАН (Москва, Россия);
Лукомец В.М. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФНЦ «ВНИИМК» (Краснодар, Россия);
Медведев А.М. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Паштетский В.С. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБУН «НИИСХ Крыма» (Симферополь, Россия);
Сандухадзе Б.И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В.С. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ООО «СП ССК «Кукуруза» (Пятигорск, Россия);
Упадышев М.Т. – чл. корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф. РАН, ФГБНУ ФНЦ Садоводства (Москва, Россия);
Шевченко С.Н. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ФГБУН «Самарский ФИЦ РАН» (Самара, Россия).

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Урбан Э.П. – член-корр. НАН Беларуси, д-р с.-х. наук, профессор,
РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию» (Жодино, Республика Беларусь);
Усенбеков Б.Н. – канд. биол. наук, проф., РГП «Институт биологии и биотехнологии растений»
(Алматы, Республика Казахстан);
Халил Сурек – д-р наук, Тракийский аграрный НИИ (Эдирне, Турция);
Юсупов Г.Ю. – канд. с.-х. наук, Министерство сельского хозяйства и охраны окружающей среды Туркменистана
(Ашхабад, Туркменистан).

*Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и
массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС 77-81134 от 17 мая 2021 г.*

Журнал включен в Перечень ВАК Минобразования России ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (категория К1),
выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой
степени доктора и кандидата наук (по научным специальностям: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки),
4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология (сельскохозяйственные науки), 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
(сельскохозяйственные науки). Журнал входит в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ),
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и Белый список (Уровень 1). Журнал входит в международную базу данных DOAJ.

Перевод на английский язык – Скуйбедина О.Н.

Адрес учредителя и издателя: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.

Тел.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.12.2025

Дата выхода 28.12.2025. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ №

Отпечатано в ООО «Амирит». 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, д. 88.

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL

GRAIN ECONOMY OF RUSSIA

Vol. 17, № 6. 2025

The founder and publisher is Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural Research Center "Donskoy",
a member of the Association of Science Editors and Publishers (ASEP)
The journal has been published since January, 2009.

Pakhomov V. I. – chief editor, Dr. Sci. (Technology), professor, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);
Kalinina N. V. – deputy chief editor (Zernograd, Russia);
Sharova S. Yu. – technical secretary (Zernograd, Russia).

EDITORIAL BOARD:

Batalova G. A., Federal Agricultural Research Center of the East named N. V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture),
professor, academician of RAS (Kirov, Russia);
Bespalova L. A., "P. P. Lukyanenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Volkova G. V., All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology), corresponding member of RAS (Krasnodar, Russia);
Gontcharenko A. A., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Davletov F. A., Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture) (Ufa, Russia);
Dolzhenko V. I., All-Russian Research Institute of Plant Protection – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (St. Petersburg, Russia);
Dubina E. V., Federal Scientific Rice Centre – Dr. Sci. (Biology), professor of RAS (Krasnodar, Russia);
Zezin N. N., Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Ekaterinburg, Russia);
Klykov A. G., Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika – Dr. Sci. (Biology),
professor of RAS, academician of RAS (Ussuriysk, Russia);
Kostylev P. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Agriculture), professor (Zernograd, Russia);
Lobachevsky Ya. P., Federal Scientific Agroengineering Center VIM – Dr. Sci. (Technique), professor of RAS, academician of RAS
(Moscow, Russia);
Lukomets V. M., Federal Scientific Center "V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil crops" – Dr. Sci. (Agriculture),
professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Medvedev A. M., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Pashtetskiy V. S. – "Research Institute of Agriculture of Crimea" – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Simferopol, Russia);
Sandukhadze B. I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agri-culture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Upadyshev M. T., Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery – Dr. Sci. (Agriculture),
professor of RAS, corresponding member of RAS (Moscow, Russia);
Shevchenko S. N., Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture),
academician of RAS (Samara, Russia);

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

Urban E. P., RUE "The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming" –
Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of NAS (Zhodino, The Republic of Belarus);
Usenbekov B. N., Institute of Plant biology and biotechnology – Cand. Sci. (Biology), professor, (Almaty, The Republic of Kazakhstan)
Khalil Surek, Trakia Agricultural Research Institute – PhD (Edirne, Turkey);
Yusupov G. Yu., Ministry of Agriculture and Water Management of Turkmenistan – Cand. Sci. (Agriculture) (Ashkhabad, Russia);
*The journal has been registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology
and Mass Media (Roskomnadzor). Registration number is PI No. FS 77-81134 dated May 17, 2021*

The science-practical journal is registered in the List of the leading reviewed scientific journals and publications (category K1) issued in the country approved by the Higher Certifying Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, where basic scientific results of thesis on Ph.D. and Doctor of Sciences are to be published (scientific specialties: 4.1.1. General agriculture and plant production (agricultural science), 4.1.2. Plant breeding, seed production and biotechnology (agricultural science), 4.1.3. Agrochemistry, agricultural soil science, plant protection and quarantine (agricultural science). The journal is included into Russian Science Citation Index (RSCI) on the platform Web of Science (RSCI core), Russian Science Citation Index (RSCI), and in the "Whitelist" (Level 1). The journal is included in the international Directory of Open Access Journals (DOAJ).

English version is of Olga N. Skuybedina.

The official address of the editorial board is 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3.
Tel.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru
The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.12.2025
The date of the issue is 28.12.2025. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.
Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ. Т. 17, № 6. 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Московский М.Н., Беляков М.В., Ефременков И.Ю. Фотолюминесцентная диагностика нута	5
Шурхаева К.Д., Абросимова Т.Н., Хуснутдинова А.Т., Саубанова Г.Р., Казеева Н.А. Сравнительная оценка продовольственных сортов гороха селекции Татарского НИИСХ	11
Розова М.А., Егизарян Е.Е., Ляпунова О.А. Изменение элементов структуры урожая яровой твердой пшеницы (<i>TRITICUM DURUM DESF.</i>) в процессе селекции на продуктивность в условиях Алтая	17
Малкандуева А.Х., Малкандуев Х.А., Базгиев М.А., Шамурзаев Р.И. Пластичность и стабильность сортов озимой пшеницы в условиях Юга России	25
Кравченко Н.С., Игнатьева Н.Г., Костыленко О.А., Иванисова А.С. Формирование качества зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы по предшественнику горох	32
Костылев П.И., Вожкова Н.Н., Аксенов А.В., Краснова Е.В. ПЦР-анализ новых сортообразцов риса на присутствие генов устойчивости к пирикуляриозу	38
Черткова Н.Г., Калинина Н.В., Донцова В.Ю., Костылев П.И. Оценка эффективности андрогенеза <i>in vitro</i> при получении удвоенных гаплоидов риса	47
Регидин А.А., Горюнов К.Н. Параметры адаптивности коллекционных образцов эспарцета в условиях Ростовской области	56
Гелюх В.Н., Марченко Д.М., Подгорный С.В., Иванисов М.М., Садовой А.С. Результаты послереги-стрикционного испытания сортов озимой мягкой пшеницы на «Славяносербской сортоиспытательной станции» филиала ФГБОУ ВО ЛГАУ в условиях Луганской Народной Республики	63

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Лоскутов С.И., Пухальский Я.В., Воробьев Н.И., Астафьева О.В., Осипов А.И., Якубовская А.И., Турковская В.Р., Каменева И.А., Космин В.В., Сакович М.П. Биоаккумуляция карбоновых кислот в микрозелени зернового амаранта под влиянием добавок зоогумуса	70
Подласова Е.Ю., Новикова А.А. Урожайность и качество зерна <i>TRITICUM DURUM DESF</i> в условиях Оренбургского Предуралья	82
Радченко Л.А., Позднякова А.П., Ростова Е.Н., Овчаренко Н.С. Хозяйственно полезные свойства перспективных сортов озимой твердой пшеницы в условиях степного Крыма	90
Пахомов В.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А., Чуксеева Т.С. Обзор способов сушки зерна ранних фаз спелости	97

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Теличко О.Н., Сырмолот О.В. Применение биопрепаратов против <i>LEGUMINIVORA GLYCINIVORELLA MATSUMURA</i> (LEPIDOPTERA, TORTRICIDAE)	101
Шабатуков А.Х., Шипшева З.Л. Эффективность применения фунгицидов против мучнистой росы на посевах озимой пшеницы в условиях степной зоны КБР	106
Гандрабур Е.С., Верещагина А.Б., Клименко Н.С., Еремеев Ф.К. Особенности оценки развития черемухово-злаковой тли <i>Rhopalosiphum padi</i> (L.) при питании на злаках	113

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Moskovsky M.N., Belyakov M.V., Efrremenkov I.Yu. Photoluminescent diagnostics of chickpeas	5
Shurkhaeva K.D., Abrosimova T.N., Khusnudinova A.T., Saubanova G.R., Kazeeva N.A. Comparative estimation of food pea varieties developed by the Tatarsky ria	11
Rozova M.A., Egiazaryan E.E., Lyapunova O.A. Changes in yield structure elements of spring durum wheat (<i>triticum durum</i> desf.) When breeding for productivity in altai	17
Malkandueva A.Kh., Malkanduev Kh.A., Bazgiev M.A., Shamurzaev R.I. Adaptability and stability of winter wheat varieties in the south of Russia	25
Kravchenko N.S., Ignatieva N.G., Kostylenko O.A., Ivanisova A.S. Formation of grain quality in winter durum wheat varieties and lines sown after peas	32
Kostylev P.I., Vozhzhova N.N., Aksenov A.V., Krasnova E.V. Pcr-analysis of new rice varieties for the presence of blast resistance genes	38
Chertkova N.G., Kalinina N.V., Dontsova V.Yu., Kostylev P.I. Estimation of efficiency of <i>in vitro</i> androgenesis in the production of doubled rice haploids	47
Regidin A.A., Goryunov K.N. Adaptability parameters of collection samples of sainfoin in the rostov region	56
Gelyukh V.N., Marchenko D.M., Podgorny S.V., Ivanisov M.M., Sadovoy A.S. Results of post-marketing testing of winter soft wheat varieties at the varietal testing station of the slavyanoserbskaya varietal testing station of the lsau branch in the conditions of the Lugansk people's republic	63

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Loskutov S.I., Pukhalsky Ya.V., Vorobiev N.I., Astafieva O.V., Osipov A.I., Yakubovskaya A.I., Turkovskaya V.R., Kameneva I.A., Kosmin V.V., Sakovich M.P. Bioaccumulation of carboxylic acids in grain amaranth microgreens under the effect of zoohumus additives	70
Podlasova E.Yu., Novikova A.A. Grain productivity and quality of <i>triticum durum</i> desf in the orenburg cis-ural region	82
Radchenko L.A., Pozdnyakova A.P., Rostova E.N., Ovcharenko N.S. Economically valuable properties of promising winter durum wheat varieties in the crimean steppe	90
Pakhomov V.I., Rudoy D.V., Maltseva T.A., Chukseeva T.S. Review of grain drying methods at the early stages of maturity	97

PLANT PROTECTION

Telichko O.N., Syrmolot O.V. The use of bioproducts against <i>leguminivora glycinvorella matsumura</i> (lepidoptera, tortricidae)	101
Shabatukov A.Kh., Shipsheva Z.L. The efficiency of fungicide against powdery mildew on winter wheat crops in the steppes of the kabardino-balkarian republic	106
Gandrabur E.S., Vereshchagina A.B., Klimenko N.S., Eremeev F.K. Peculiarities of development of the bird cherry aphid <i>rhopalosiphum padi</i> (l.) Feeding on cereals	113

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.1:535.372

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-5-10

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ДИАГНОСТИКА НУТА

М.Н. Московский, доктор технических наук, профессор РАН, главный научный сотрудник, лаборатория технологий и машин для послевороченной обработки зерна и семян, maxmoskovsky74@yandex.ru, ORCID ID 0000-0001-5727-8706;

М.В. Беляков, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, лаборатория инновационных технологий и технических средств кормления в животноводстве, bmw2010@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-4371-8042;

И.Ю. Ефременков, младший научный сотрудник, лаборатория инновационных технологий и технических средств кормления в животноводстве, efremenkovigor55@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-2302-9773

ФГБНУ «Федеральный научный агрогинженерный центр ВИМ», 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5

Качественный посевной материал – одно из важнейших условий эффективности производства зерна и зернопродуктов. Для производства высококачественной продукции требуется больше растительного белка, источником которого является нут. При хранении зерна и семян очень важен контроль качественных показателей, который возможно осуществлять оптическими методами. Целью данного исследования является обоснование выбора информативных спектральных параметров для создания фотолюминесцентного метода диагностики нута. Исследовали оптические спектральные люминесцентные свойства среднеспелого сорта нута Память урожая 2024, 2019 и 2017 годов. Оптические измерения проводили на дифракционном спектрофлуориметре «СМ2203». Получили спектры возбуждения (поглощения) и спектры люминесценции. Возбуждение нута происходит в диапазоне 250–550 нм и для всех исследованных образцов имеет максимумы 362 и 424 нм. Наибольшее различие интегрального параметра поглощения наблюдается в диапазоне возбуждения 370–500 нм. Получены интегральные параметры спектров люминесценции при возбуждениях 362 и 424 нм. Интегральные потоки фотолюминесценции зависят от времени хранения и содержания белков и жиров. Погрешность определения потоков не превышает 4,5 %. Наиболее информативная длина волны возбуждения выбрана из условия максимального уровня фотосигнала, минимальной погрешности определения потока и наибольшего увеличения потока для разных значений содержания белка и жира. Наилучшей является длина волны возбуждения 424 нм. Диапазон регистрации фотолюминесцентного излучения при данном возбуждении находится на длинах волн 480–650 нм. Полученные результаты будут положены в основу разработки фотолюминесцентного метода контроля параметров нута в процессе длительного хранения.

Ключевые слова: нут, параметры зерна, оптические свойства, фотолюминесценция.

Для цитирования: Московский М.Н., Беляков М.В., Ефременков И.Ю. Фотолюминесцентная диагностика нута // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 6. С. 5–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-5-10.



PHOTOLUMINESCENT DIAGNOSTICS OF CHICKPEAS

М.Н. Московский, Doctor of Technical Sciences, professor of RAS, main researcher, laboratory of technologies and machines for post-harvest processing of grain and seeds, maxmoskovsky74@yandex.ru, ORCID ID 0000-0001-5727-8706;

М.В. Беляков, Doctor of Technical Sciences, associate professor, main researcher, laboratory of innovative technologies and technical means of feeding in animal husbandry, bmw2010@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-4371-8042;

И.Ю. Ефременков, junior researcher, laboratory of innovative technologies and technical means of feeding in animal husbandry, efremenkovigor55@mail.ru, ORCID ID 0000-0003-2302-9773

FSBSI “Federal Research AgroEngineering Center VIM”, 109428, Moscow, 1-st Institutsky Pr., 5

High-quality seed material is a critical factor in the efficient production of grain and its products. Producing high-quality products requires more plant protein, a source of which is chickpeas. Quality control, which can be accomplished using optical methods, is of great importance when storing grain and seeds. The purpose of the current study was to validate the selection of informative spectral parameters to develop a photoluminescence diagnostic method for chickpeas. There were studied the optical spectral luminescence properties of middle-maturing chickpeas ‘Pamyat’ harvested in 2024, 2019, and 2017. Optical measurements were performed using a diffraction spectrum fluorimeter ‘CM2203’. There have been obtained excitation (absorption) and luminescence spectra. Chickpea excitation was in the range of 250–550 nm, with maxima at 362 and 424 nm for all samples studied. The greatest difference in the integral absorption parameter was in the excitation range of 370–500 nm. There were obtained integral parameters of the luminescence spectra at excitation wavelengths of 362 and 424 nm. Integral photoluminescence fluxes depended on storage time and percentage of protein and oil in seed. The error in determining the fluxes did not exceed 4.5 %. The most informative excitation wavelength was selected based on the condition of the maximum photo

signal level, minimum error in determining the flux, and the greatest flux increase for different values of protein and oil percentage. The optimal excitation wavelength was 424 nm. The photoluminescence emission detection range for this excitation wavelength was 480–650 nm. The results obtained could form the basis to develop a photoluminescence method for monitoring chickpea parameters during long-term storage.

Keywords: chickpeas, grain parameters, optical properties, photoluminescence.

Введение. Обеспечение качественным посевным материалом является одним из первичных и важнейших условий эффективности производителей зерна и зернопродуктов. При хранении зерна и семян очень важен контроль качественных показателей в соответствии с установленными требованиями, нормами, пригодными для длительного срока хранения без потерь технологических свойств и посевных качеств. Кроме того, для производителей зерна обеспечение безопасных запасов в хранилищах или зерноскладах – важный показатель, напрямую связанный с развитием самого предприятия (Исаков и Айбек, 2023).

Для производства высококачественной животноводческой продукции нужно больше растительного белка. Для создания стабильной кормовой базы в животноводстве требуется поиск альтернативных источников кормового белка за счет различных нетрадиционных сельскохозяйственных культур, в том числе зернобобовых (Сазонова и др., 2024). В условиях Российской Федерации источником пополнения белка и повышения качества продовольственной базы может служить нут, характеризующийся высоким содержанием белка, отличными вкусовыми качествами и питательностью (Волковидр., 2023). Рентабельность нута составляет 65–85 %, что в 2–3 раза выше пшеницы. Нут обладает высокой засухоустойчивостью, его корневая система достигает глубины 1,5 м, что критично для засушливых регионов (Кубань, Ставрополье, Южный Урал). Данная особенность позволяет экономить средства на орошении. У нута короткий вегетативный период, что позволяет осуществлять двойной севооборот. Нетребователен к почвам и не нуждается в специальной технике. Для посева нута можно использовать зерновые или пропашные сеялки.

Качество нута является одним из параметров, влияющих на его стоимость. Без осуществления контроля качества нута, например, белка, может существенно снизиться его стоимость. Нут является стратегическим экспортным продуктом с растущим спросом. Главными покупателями российского нута являются Турция и Пакистан.

Для оценки качества зерна нута, как и большинства других зерновых и зернобобовых культур, используются химические и механические методы (Донская и др., 2021), которые являются разрушающими, неэкологичными и зачастую дорогостоящими.

Среди других методов диагностики имеет место масс-спектрометрия высокого разреше-

ния (Di Francesco et al., 2024). Оптические методы используют анализ изображений. Систему компьютерного зрения, интегрированную с искусственными нейронными сетями, использовали для оценки качества нута по размеру, цвету и морфологии поверхности. С помощью системы были определены физические свойства (длина, ширина и объем) образцов нута, а также их цветовые характеристики и свойства поверхности (Çakmak and Boyacı, 2011). Разработана модель для прогнозирования двух показателей урожайности нута: массы тысячи семян и количества семян на одно растение (Bankin et al., 2024).

Для определения изменений в качестве нута во время хранения была оценена возможность применения гиперспектральной визуализации (Indore et al., 2024). В качестве методов многомерного анализа данных для гиперспектральной съемки были использованы анализ главных компонент и дискриминантный анализ методом частичных наименьших квадратов.

Приоритетным направлением научно-технологического развития агропромышленного комплекса должен стать переход к передовым цифровым, интеллектуальным технологиям, роботизированным системам (Ценч, 2022). Одним из перспективных оптических методов для создания таких технологий является фотolumинесцентная спектроскопия. Метод не требует высококачественной изображательной оптики и необходимого для нее дорогостоящего оборудования, а при однократном измерении могут быть проанализированы свойства большого количества семян. Ранее фотolumинесцентные свойства были использованы авторами для анализа всхожести, влажности и степени заражения зерна и семян.

Целью данного исследования является анализ оптических фотolumинесцентных свойств нута для обоснования выбора информативных спектральных параметров при создании метода его диагностики.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта был использован сорт среднеспелого нута Память. Семена средние, округлой формы, светло-бурые. Данный сорт интересен сравнительно высоким содержанием белка (в среднем более 24 %). Измеряли спектральные люминесцентные свойства зерна урожая 2024, 2019 и 2017 годов, хранившегося в одинаковых условиях. Эксперименты проводили в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2025 году. Параметры семян, полученные на приборе FOSS NIRS DS 2500 (Дания), а также лабораторная всхожесть представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры воздушно-сухого нута
Table 1. Parameters of air-dried chickpeas

Год урожая	Белок, %	Влага, %	Жир, %	Зола, %	Крахмал, %	Всхожесть, %
2017	28,5 ± 0,8	8,3 ± 0,7	9,3 ± 1,5	6,5 ± 0,1	7,7 ± 0,5	88 ± 3
2019	25,1 ± 0,3	8,5 ± 0,1	8,5 ± 0,7	6,4 ± 0,1	7,7 ± 0,3	93 ± 2
2024	20,1 ± 2,3	7,8 ± 0,4	5,1 ± 1,6	6,5 ± 0,2	7,4 ± 0,6	96 ± 2

У семян более длительных сроков хранения более высокое содержание белка и жиров. Содержание влаги, золы и крахмала практически одинаково.

Спектральные характеристики возбуждения и фотолюминесцентного излучения измеряли на дифракционном спектрофлуориметре «СМ2203» (Белоруссия). Вначале измеряли спектры поглощения $\eta(\lambda)$ при синхронном сканировании монохроматорами в диапазоне спектра 230–730 нм для нахождения максимумов возбуждения. Затем измеряли спектры люминесценции $\phi(\lambda)$ при возбуждении на длинах волн максимального поглощения λ_{η} . Для семян каждого года урожая измерено по 30 воздушно-сухих семян в десятикратной повторности.

Интегральную поглощающую способность H в диапазоне спектра $\lambda_1 - \lambda_2$ определяли по формуле

$$H = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \eta(\lambda) d\lambda. \quad (1)$$

Интегральную излучательную способность – поток фотолюминесценции Φ в диапазоне спектра $\lambda_3 - \lambda_4$ определяли по формуле

$$\Phi = \int_{\lambda_3}^{\lambda_4} \phi(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

Статистическую обработку полученных результатов проводили по общепринятым формулам. Доверительные интервалы рассчитаны для надежности 0,95.

Результаты и их обсуждение. Возбуждение излучением воздушно-сухих семян нута (рис. 1) происходит в диапазоне спектра примерно 250–550 нм.

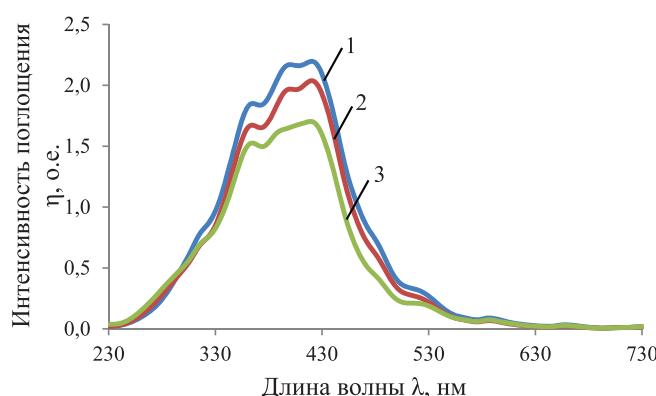


Рис. 1. Спектры возбуждения нута различных лет урожая: 1 – 2017-го, 2 – 2019-го, 3 – 2024-го
Fig. 1. Excitation spectra of chickpeas harvested in different years: 1 – 2017, 2 – 2019, 3 – 2024

Для семян всех лет урожая (сроков хранения) общий вид зависимостей $\eta(\lambda)$ является схожим. Имеется суперпозиция основных максимумов 362 и 424 нм, ранее отмеченных для большинства зерновых и зернобобовых семян (Беляков, 2024). Для семян сроков хранения с 2017 и 2019 гг. выделяется максимум на 390 нм. Более длинноволновые максимумы – 485, 526 и 585 нм – практически не отмечаются на общем фоне.

Рассчитаны интегральные поглощающие способности H (в относительных единицах) как во всем исследуемом диапазоне (230–730 нм), так и в области отдельных максимумов (табл. 2).

Таблица 2. Интегральные параметры спектров возбуждения нута
Table 2. Integral parameters of chickpea excitation spectra

Год урожая	H, о. е. (для спектрального диапазона, нм)					
	230–340	340–370	370–500	500–562	562–730	230–730
2017	45 ± 3	50 ± 2	201 ± 4	15 ± 1	6 ± 1	318 ± 8
2019	42 ± 3	45 ± 3	181 ± 8	12 ± 1	5 ± 1	286 ± 13
2024	44 ± 4	41 ± 2	150 ± 6	10 ± 1	5 ± 1	251 ± 10

Во всем диапазоне с увеличением сроков хранения увеличивается интеграль-

ная поглощающая способность, причем без перекрытия доверительных интервалов.

Вместе с тем, в коротковолновом диапазоне (230–340 нм) различий не заметно, а в диапазоне 340–370 нм – незначительно. То же самое и в длинноволновых диапазонах 500–562 нм и 562–730 нм. Наибольшее различие наблюдается в средневолновом диапазоне возбуждения 370–500 нм, где имеется статистически достоверное различие в 1,11–1,34 раза между образцами семян разного года урожая.

Таким образом, наиболее эффективное возбуждение происходит в средневолновом спектральном диапазоне. Поэтому в дальнейшем будем использовать для возбуждения длины волн максимумов $\lambda_b = 362$ нм и $\lambda_b = 424$ нм. Спектральные характеристики фотолюминесценции $\phi(\lambda)$ при возбуждении $\lambda_b = 362$ нм (рис. 2) расположены в основном в диапазоне 410–600 нм.

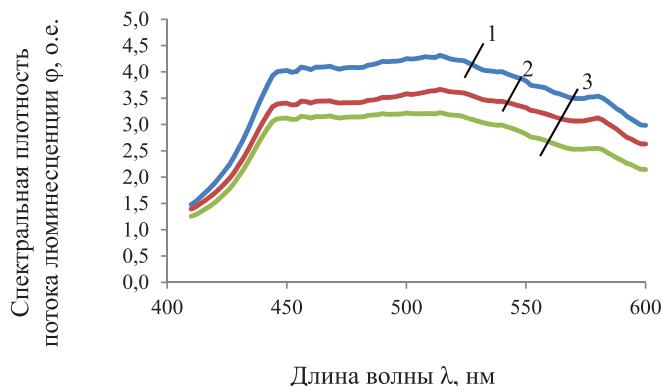


Рис. 2. Спектры люминесценции нута при $\lambda_b = 362$ нм различных годов урожая:

1 – 2017-го, 2 – 2019-го, 3 – 2024-го

Fig. 2. Luminescence spectra of chickpeas at $\lambda_b = 362$ nm harvested in different years:
1 – 2017, 2 – 2019, 3 – 2024

Максимум спектра не выражен четко и находится на длинах волн примерно 440–510 нм. Как и для спектров возбуждения, наблюдается сходство характеристик и их зависимость от сроков хранения: при их увеличении спектральные характеристики смещаются вправо.

При возбуждении $\lambda_b = 424$ нм также кривые имеют схожий вид и смещаются вправо при уве-

личении срока хранения (рис. 3). Отличием является большая величина спектральной плотности потока ϕ : до 6,2 о. е. при $\lambda_b = 424$ нм против 4,3 о. е. при $\lambda_b = 362$ нм. Максимум спектра находится примерно в диапазоне 520–540 нм.

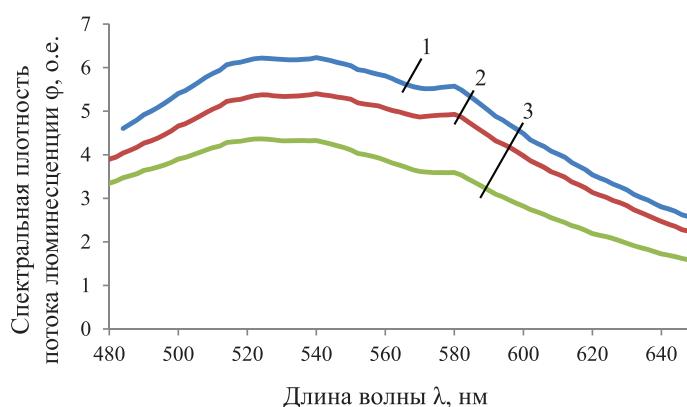


Рис. 3. Спектры люминесценции нута при $\lambda_b = 424$ нм различных годов урожая:

1 – 2017-го, 2 – 2019-го, 3 – 2024-го

Fig. 3. Luminescence spectra of chickpeas at $\lambda_b = 424$ nm harvested in different years:
1 – 2017, 2 – 2019, 3 – 2024

Для лучшей количественной оценки рассчитаны интегральные параметры спектров – потоки фотолюминесценции $\Phi\lambda$ (табл. 3) во всем спектральном диапазоне регистра-

ции. Относительная погрешность определения потоков до 4,5 % при $\lambda_b = 362$ нм и до 3,8 % при $\lambda_b = 424$ нм. Доверительные интервалы не пересекаются.

Таблица 3. Интегральные потоки фотолюминесценции нута
Table 3. Integral photoluminescence fluxes of chickpeas

Год урожая	Ф362, о. е.	Ф424, о. е.
2017	693 ± 18	865 ± 23
2019	595 ± 27	756 ± 29
2024	523 ± 21	582 ± 22

Видна статистически достоверная зависимость потоков от времени и содержания белков и жиров. Вместе с тем, при $\lambda_b = 362$ нм с увеличением сроков хранения поток увеличивается сильнее: с 2024 до 2019 г. в 1,13 раза и с 2019 по 2017 г. – в 1,17 раза. Для возбуждения $\lambda_b = 424$ нм соответствующие показатели составляют 1,30 и 1,14 раза.

С биофизической точки зрения лучшая люминесцентная способность зерна нута может быть объяснена либо снижением способности удерживать влагу при старении, либо большим содержанием связанных с белками и жирами люминофоров (Беляков, 2024). Данные таблицы 1 свидетельствуют о втором варианте возможного объяснения полученных результатов, так как содержание белка выше у семян 2019 и 2017 гг. урожая, в то время как содержание влажности у всех семян примерно одинаково в пределах доверительного интервала.

При выборе длины волны возбуждения следует учитывать максимальный уровень фотосигнала (пропорциональный $\Phi\lambda$), погрешность определения потока и уровень увеличения потока для разных значений белка и жира. По всем данным показателям наилучшей является длина волны возбуждения 424 нм, при использовании которой отмечается максимальный уровень потока при наименьшей погрешности и наибольшее увеличение потока

в процессе хранения (на 48,6 %) по сравнению с $\lambda_b = 362$ нм (на 32,5 %). При использовании длины волны возбуждения 424 нм регистрировать люминесцентное излучение необходимо в диапазоне спектра 480–650 нм.

Полученные результаты будут положены в основу фотолюминесцентного метода контроля параметров нута в процессе длительного хранения.

Выводы. Спектральные характеристики возбуждения для всех исследованных образцов нута имеют максимумы на длинах волн 362 и 424 нм. В процессе хранения нута меняются его люминесцентные свойства: возрастают поглощательная и излучательная способности. Потоки фотолюминесценции увеличиваются при увеличении времени хранения на 48,6 % для $\lambda_b = 424$ нм и на 32,5 % – для $\lambda_b = 362$ нм. Погрешности определения потоков не превышают 3,8 и 4,5 % соответственно. По максимальному уровню фотосигнала, наибольшей чувствительности и наименьшей относительной погрешности наилучшим вариантом для фотолюминесцентной диагностики нута в процессе хранения является использование длины волны возбуждения 424 нм с диапазоном регистрации 480–650 нм.

Финансирование. Исследование выполнено за счет средств Государственного задания FGUN-2025-0007.

Библиографический список

1. Беляков М.В. Оптические люминесцентные свойства семян сельскохозяйственных растений // Агрофизика. 2024. № 4. С. 72–79. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2024.04.09>
2. Волков Д.П., Башинская О.С., Зайцев С.А., Левкина А.Ю., Бабушкин Д.Д., Бычкова В.В., Калинин Ю.А. Технологический потенциал зернобобовых культур // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2023. № 3(57). С. 1–13. DOI: 10.51419/202133305
3. Донская М.В., Бобков С.В., Костикова Н.О. Оценка качества зерна различных сортообразцов нута // Зернобобовые и крупынные культуры. 2021. № 1(37). С. 30–36. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-30-36
4. Исаков Н., Айбек У.У. Проблемы хранения зерна и семян // Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина. 2023. № 1(64). С. 35–42.
5. Сазонова И.А., Бычкова В.В., Ерохина А.В., Молчанов А.В., Зайцев С.А. Потенциал зернобобовых культур как высокобелкового компонента в кормопроизводстве // Аграрный научный журнал. 2024. № 8. С. 103–107. DOI: 10.28983/asj.y2024i8pp103-107
6. Ценч Ю.С. Научнотехнический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. № 2(16). С. 4–13. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13
7. Bankin M., Tykyrin Ya., Duk M., Samsonova M., Kozlov K. Modeling Chickpea Productivity with Artificial Image Objects and Convolutional Neural Network // Plants. 2024. Vol. 13, № 17. P. 2444. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13172444>
8. Cakmak Y.S., Boyaci I.H. Quality evaluation of chickpeas using an artificial neural network integrated computer vision system // International Journal of Food Science and Technology. 2011. Vol. 46, Iss. 1. P. 194–200. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02482.x>
9. Di Francesco A., De Santis M.A., Lanzoni A., Pittala M.G.G., Saletti R., Flagella Z., Cunsolo V. Mass Spectrometry Characterization of the SDS-PAGE Protein Profile of Legumins and Vicilins from Chickpea Seed // Foods. 2024. Vol. 13, № 6. P. 887. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13060887>
10. Indore N.S., Chaudhry M., Jayas D.S., Paliwal J., Karunakaran Ch. Non-Destructive Assessment of Microstructural Changes in Kabuli Chickpeas during Storage // Foods. 2024. Vol. 13, № 3. P. 433. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13030433>

References

1. Belyakov M.V. Opticheskie lyuminestsentnye svoistva semyan sel'skokhozyaistvennykh rastenii [Optical luminescent properties of agricultural seeds] // Agrofizika. 2024. № 4. S. 72–79. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2024.04.09>
2. Volkov D.P., Bashinskaya O.S., Zajcev S.A., Lyovkina A.Y., Babushkin D.D., Bychkova V.V., Kalinin Y.A. Tekhnologicheskij potencial zernobobovyh kul'tur [Technological potential of legumes] // AgroEkoInfo: Elektronnyj nauchno-proizvodstvennyj zhurnal. 2023. № 3(57). C. 1–13. DOI: 10.51419/202133305
3. Donskaya M.V., Bobkov S.V., Kostikova N.O. Otsenka kachestva zerna razlichnykh sortoobraztsov nuta [Estimation of grain quality of various chickpea varieties] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 1(37). S. 30–36. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-1-30-36
4. Isakov N., Ajbek U.U. Problemy khraneniya zerna semyan [Grain and seed storage issues] // Vestnik Kyrgyzskogo nacional'nogo agrarnogo universiteta im. K.I. Skryabina. 2023. № 1(64). S. 35–42
5. Sazonova I.A., Bychkova V.V., Erohina A.V., Molchanov A.V., Zajcev S.A. Potencial zernobobovyh kul'tur kak vysokobelkovogo komponenta v kormoproizvodstve [Potential of legumes as a high-protein component in forage production] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2024. № 8. S. 103–107. DOI: 10.28983/asj.y2024i8pp103-107.
6. Cench Y.S. Nauchnotekhnicheskij potencial kak glavnij faktor razvitiya mekhanizacii sel'skogo hozyajstva [Scientific and technical potential as a key factor in the development of agricultural mechanization] // Sel'skohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2022. № 2(16). S. 4–13. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
7. Bankin M., Tykyrin Ya., Duk M., Samsonova M., Kozlov K. Modeling Chickpea Productivity with Artificial Image Objects and Convolutional Neural Network // Plants. 2024. Vol. 13, № 17. P. 2444. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13172444>
8. Cakmak Y.S., Boyaci I.H. Quality evaluation of chickpeas using an artificial neural network integrated computer vision system // International Journal of Food Science and Technology. 2011. Vol. 46, Iss. 1. P. 194–200. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02482.x>
9. Di Francesco A., De Santis M.A., Lanzoni A., Pittala M.G.G., Saletti R., Flagella Z., Cunsolo V. Mass Spectrometry Characterization of the SDS-PAGE Protein Profile of Legumins and Vicilins from Chickpea Seed // Foods. 2024. Vol. 13, № 6. P.887. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13060887>
10. Indore N.S., Chaudhry M., Jayas D.S., Paliwal J., Karunakaran Ch. Non-Destructive Assessment of Microstructural Changes in Kabuli Chickpeas during Storage // Foods. 2024. Vol. 13, № 3. P. 433. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13030433>

Поступила: 25.07.25; доработана после рецензирования: 02.07.25; принята к публикации: 03.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Московский М.Н., Беляков М.В. – концептуализация и ресурсное обеспечение исследования; Беляков М.В., Ефременков И.Ю. – подготовка и выполнение экспериментальных лабораторных работ и сбор данных, подготовка рукописи; Ефременков И.Ю. – визуализация, обработка и анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ СОРТОВ ГОРОХА СЕЛЕКЦИИ ТАТАРСКОГО НИИСХ

К.Д. Шурхаева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции зернобобовых культур, *shurhaeva.k@yandex.ru*, ORCID 0000-0001-9375-9662;

Т.Н. Абросимова, старший научный сотрудник лаборатории селекции зернобобовых культур, ORCID 0009-0000-4236-6658;

А.Т. Хуснутдинова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции зернобобовых культур, ORCID 0000-0001-2345-6789;

Г.Р. Саубанова, младший научный сотрудник отдела аналитических исследований, ORCID ID: 0000-0002-2896-9855;

Н.А. Казеева, лаборант-исследователь отдела аналитических исследований

Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», e-mail: *tatniva@mail.ru*, 420059, г. Казань, ул. Оренбургский тракт, 48

В статье рассмотрены результаты исследований формирования потенциала урожайности и показателей качества продовольственных сортов гороха селекции Татарского НИИСХ за период с 2011 по 2023 гг. Сравнительный анализ образцов выявил максимальный потенциал урожайности у новых сортов: Нарат, Салават и линии К/64. В условиях 2022–2023 гг. у сортов Нарат и Салават максимальная прибавка составляла 4,5; 5,1 и 3,6; 3,9 ц/га. В 2024 г. лучший показатель отмечен у перспективной линии К/64 – 14,9 ц/га. Обнаружено высокое содержание белка в среднем по годам у всех изученных генотипов гороха на уровне 23,20–25,50 %. Сорт Нарат отличался повышенным содержанием белка в семенах, с варированием от 21,68% до 26,47%. В 2023 году сорт показал преимущество по сравнению со стандартом, достигая максимальной прибавки 1,51%. Среди группы продовольственных сортов обнаружена линия К/64 с высоким содержанием белка за все годы исследований на уровне 23,43–27,47 % и минимальным временем варки 105–120 мин.

Ключевые слова: горох, продовольственные сорта, урожайность, белок, коэффициент разваримости.

Для цитирования: Шурхаева К.Д., Абросимова Т.Н., Хуснутдинова А.Т., Саубанова Г.Р., Казеева Н.А. Сравнительная оценка продовольственных сортов гороха селекции Татарского НИИСХ // Зерновое хозяйство России. 2025. Т.17. № 6 .С. 11–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-11-16.



COMPARATIVE ESTIMATION OF FOOD PEA VARIETIES DEVELOPED BY THE TATARSKY RIA

K.D. Shurkhaeva, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for legumes breeding, *shurhaeva.k@yandex.ru*, ORCID 0000-0001-9375-9662, *shurhaeva.k@yandex.ru*;

T.N. Abrosimova, senior researcher of the laboratory for legumes breeding, ORCID 0009-0000-4236-6658;

A.T. Khusnudinova, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for legumes breeding, ORCID 0000-0001-2345-6789;

G.R. Saubanova, junior researcher of the analytical research department, ORCID ID: 0000-0002-2896-9855;

N.A. Kazeeva, laboratory researcher of the analytical research department

Tatarsky Research Institute of Agriculture, separate structural unit of the Federal Research Center “Kazan Research Center of the Russian Academy of Sciences, 420059, Kazan, Orenburgsky Trakt Str., 48, e-mail: tatniva@mail.ru

The article discusses the results of research on the formation of yield potential and quality indicators of food pea varieties bred by the Tatar Research Institute of Agriculture for the period from 2011 to 2023. A comparative analysis of the samples revealed the maximum yield potential of the new varieties: Narat, Salavat, and K/64. In 2022–2023 the varieties 'Narat' and 'Salavat' demonstrated maximum productivity increases by 4.5, 5.1, and 3.6, 3.9, and 4.5 hwt/ha, respectively. The promising line 'K/64' demonstrated the best productivity in 2024, achieving 14.9 hwt/ha. There has been established a high mean protein percentage among all studied pea genotypes from 23.20% to 25.50%. The Narat variety had a high protein content in its seeds, ranging from 21.68% to 26.47%. In 2023, the variety showed an advantage over the standard, achieving a maximum increase of 1.51%. Among the food varieties, the line 'K/64' was found with the highest protein percentage in grain (23.43–27.47 %) through all years of study, and a minimum cooking time of 105–120 min.

Keywords: peas, food varieties, productivity, protein, ability to boil soft.

Введение. Производство гороха посевного (*Pisum sativum* L.) ежегодно возрастает, он ценится благодаря высокому содержанию белка со сбалансированным аминокислотным соста-

вом. Культура широко используется в сельском хозяйстве, имеет различные направления использования: кормовое, продовольственное, техническое, важное агрономическое значе-

ние. Потребность населения развитых стран в протеине удовлетворяется в основном белками животного происхождения, растительными – только на 30 %. В соответствии с новыми потребительскими тенденциями для пищевой индустрии требуется поиск более дешевых и полезных для здоровья белковых ингредиентов (Гончаров, Коробова, 2022). Для этих целей горох представляет наибольшую ценность в качестве высокобелкового сырья.

В первые годы развития селекции во многих селекционных учреждениях создавались сорта гороха на основе традиционного длинностебельного листочкового морфотипа. При полегании растений гороха происходит ухудшение физиологических показателей продукционного процесса и снижение сухой массы надземных органов в среднем на 31 %, а массы семян – на 41 %. В результате уровень урожая значительно снижался. В этой связи селекционеры продолжили интенсивную работу по поиску и созданию доноров устойчивости к полеганию (Зеленов А.Н., Зеленов А.А., 2022).

В связи с необходимостью проведения однофазной механизированной уборки благодаря селекционным инновациям гороха в последние годы отмечен рост в отечественном сортименте гороха новых морфотипов (Зотиков и др., 2021). Изменение архитектоники растений гороха, направленное на повышение продуктивности и технологичности агроценоза, стало возможным главным образом благодаря внедрению в генотипы рецессивных аллелей, таких как неосыпаемость семян (ген *def*), детерминантный тип роста стебля (ген *deh*), усатый тип листа (ген *af*), короткий тип междуузлий (ген *l/m, le*). Современные сорта гороха способны формировать высокую уро-

жайность зерна хорошего качества в разных почвенно-климатических условиях, в том числе и в неблагоприятные годы с различным сроком созревания (Давлетов и др., 2020; Зеленов и др., 2020; Шурхаева и др., 2023; Лихачева, 2025; Майстренко, 2025).

Ценность гороха определяется не только его урожайностью, но и высоким содержанием белка. Основным показателем при передаче сорта на государственное сортоиспытание выступает хозяйственная пригодность сорта, а качественные показатели при этом не учитываются (Катюк, 2021). В связи с полигенным контролем содержания белка и сильной подверженностью значений воздействию внешних условий среди направление селекции гороха на его повышение является наиболее сложным. Сложность заключается в том, что эти два показателя – урожайность и белковость – требуют одновременного повышения, и между ними существует отрицательная корреляция (Фадеева и Шурхаева, 2021).

Все вышеперечисленные факторы указывают на актуальность направления селекции на улучшение показателей качества зерна и создание сортов с высокими продовольственными свойствами.

Цель исследований – оценить формирование потенциала сортов гороха зернового направления для использования на продовольственные цели.

Материалы и методы исследований. Оценку продовольственных сортов гороха селекции Татарского НИИСХ, допущенных к использованию за период с 2011 по 2023 год, проводили по сравнению со стандартным сортом Ватан (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика продовольственных сортов гороха
Table 1. Characteristics of food pea varieties

Сорт	Год, регион допуска	Генотип
Ватан, ст.	2011 (5, 7, 9)	<i>af, def, le</i>
УКаз	2011 (4, 6, 7)	<i>af, le</i>
Нарат	2022 (3, 5, 7, 9, 10)	<i>af, le</i>
Салават	2023 (3, 7, 9)	<i>af, le</i>
К/64	конкурсное сортоиспытание	<i>af</i>

Сорта характеризуются наличием одного или нескольких рецессивных признаков – усатым типом листа (*af*), коротким междуузлием (*le*). Семена осыпающиеся, за исключением стандарта. Сорт УКаз создан совместно с Ульяновским НИИСХ, который в настоящее время относится к филиалу Самарского НЦ РАН. Новые перспективные сорта Нарат и Салават включены в Государственный реестр селекционных достижений в 2022 и 2023 гг., причем сорт Нарат имеет допуск по пяти регионам. Из конкурсного сортоиспытания выделена линия К/64, которая соответствует требованиям, предъявляемым продовольственным сортам.

Питомник заложен в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). В годы исследований посев опытных делянок гороха проводили в первой декаде мая. Сорта изучались в пяти повторениях с учетной площадью делянок 10 м², высеванных рендомизированно. Высевали с нормой 1,3 млн всхожих семян на гектар.

Содержание белка, разваримость, цвет, однородность консистенции каши определяли в аналитической лаборатории в соответствии с ГОСТ 10846-91. Азот выделяли на аппарате Кильдаля с перерасчетом на коэффициент 6,25. При кулинарной оценке осмотр образ-

цов проводили через 90 мин после начала варки гороха, а затем повторяли его через каждые 10–15 мин до полной готовности, которую определяли органолептически. Основной показатель готовности – мягкость большинства семян. Для сравнительной оценки кулинарных свойств гороха служит коэффициент разваримости, который равен отношению массы семян после варки к массе сухих семян.

Статистическую обработку полученных результатов проводили методами однофакторно-

го анализа по Б.А. Доспехову (2011) с использованием программы Microsoft Excel XP, пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS 2.13 (Смиряев А.В., 1992).

Годы проведения исследований (2021–2024) характеризовались высокой изменчивостью параметров метеорологических условий (рис. 1).



Рис. 1. Гидротермический коэффициент по фазам вегетации растений (сорт Ватан), 2021–2024 гг.

Fig. 1. Hydrothermal coefficient during plant vegetation periods (the variety 'Vatan'), 2021–2024

В 2021 г. складывались засушливые условия для роста и развития растений при сочетании высокого температурного режима и недостаточного влагообеспечения. Как следствие, за весь вегетационный период (стандартный сорт Ватан) установлено низкое значение гидротермического коэффициента ГТК – 0,15. В первой половине вегетации – от появления всходов до начала цветения – среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетние значения на 9,6–17,0 % и выпало всего 9 мм осадков (ГТК – 0,14). В период цветения дефицит осадков, значение среднесуточной температуры с превышением от среднемноголетних значений на 24,0 % повлияли на снижение величины урожайности.

В 2022 г. фаза «всходы–начало цветения» сопровождалась оптимальной среднесуточной температурой и суммой осадков ниже нормы, ГТК составлял 0,48. В фазе цветения установилась жаркая погода, максимальная температура достигала 30 °C. Отсутствие осадков при закладке бутонов негативно повлияло на низкую завязываемость бобов.

В 2023 г. характерно наступление ранней весны. В первой половине вегетации складывались благоприятные условия для линейного роста растений. По объему выпавших осадков с отклонением от среднемноголетних значений на 80,0 % и оптимальной среднесуточной температурой можно характеризовать представленный период как достаточно увлажненный (ГТК – 1,47). В период цветения среднесуточ-

ная температура соответствовала среднемноголетним значениям с минимальным количеством осадков (ГТК – 0,25).

В 2024 г. период «всходы–начало цветения» сопровождался недостаточным влагообеспечением, среднесуточная температура была выше среднемноголетнего значения на 2,0–5,0 °C, а максимальная температура повышалась до 29,1–30,8 °C. Сложившиеся условия повлияли на развитие низкого габитуса растений, способствовали минимальной закладке бутонов и формированию низкого потенциала урожайности.

Результаты и их обсуждение. В стрессовых условиях 2021 г. потенциал урожайности был заложен на низком уровне. Величина показателя стандартного сорта составила 10,0 ц/га. Сорта Указ и Салават по сравнению со стандартом характеризовались низким уровнем урожайности – 9,2 ц/га. Наибольшим преимуществом отличалась линия К/64 и сорт Нарат – с прибавкой 0,8; 0,9 ц/га, значение показателя составляло 10,9 и 11,7 ц/га, но достоверной прибавки не обнаружено.

Сравнительный анализ образцов в среднем по годам выявил наиболее высокий потенциал урожайности у новых сортов: Нарат, Салават и линии К/64. По годам – с 2022 по 2024-й – у представленных образцов выявлено достоверное превышение показателя по сравнению со стандартом в пределах 0,2–5,1 ц/га с максимальным проявлением у сорта Салават (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика продовольственных сортов по урожайности, ц/га (2021–2024 гг.)
Table 2. Characteristics of food varieties according to productivity, hwt/ha (2021–2024)

Сорт	Урожай, ц/га				Отклонение от стандарта, ц/га			
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2021	2022	2023	2024
Ватан, ст.	10,0	23,8	26,8	11,3	0	0	0	0
Указ	9,2	23,6	26,7	9,8	-0,8	-0,2	-0,1	-1,5
Нарат	11,7	28,3	30,4	11,5	+1,7	+4,5	+3,6	+0,2
Салават	9,2	28,9	30,7	13,0	-0,8	+5,1	+3,9	+1,7
K/64	10,9	25,8	29,1	14,9	+0,9	+2,0	+2,3	+3,6
НСР ₀₅					0,197	0,176	0,188	0,176

В 2024 г. лучшее значение получено у перспективной линии K/64 (14,9 ц/га). Сорт Указ по величине показателя по годам уступал всем изученным сортам.

По результатам исследований в 2021–2024 гг. изученные формы гороха характеризовались высоким содержанием белка на уровне 20,17–27,47 % (табл. 3).

Таблица 3. Содержание и сбор белка продовольственных сортов гороха, 2021–2024 гг.
Table 3. Percentage and gross yield of protein in food pea varieties, 2021–2024

Сорт	Содержание белка, %				среднее значение	Сбор, т/га				среднее значение
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		2021	2022	2023	2024	
Ватан, ст.	25,92	23,55	20,17	24,74	23,6	0,259	0,560	0,540	0,279	0,410
Указ	25,96	23,32	21,54	25,20	24,0	0,239	0,550	0,575	0,247	0,402
Нарат	26,47	24,19	21,68	24,24	24,1	0,310	0,684	0,659	0,279	0,483
Салават	26,52	23,32	20,22	23,00	23,2	0,244	0,674	0,621	0,299	0,459
K/64	27,43	23,95	23,43	27,47	25,5	0,299	0,618	0,682	0,409	0,502
sd**	0,61	0,39	1,33	1,64		0,03	0,06	0,06	0,06	

Примечание. sd – стандартное отклонение.

На вариабельность показателя по годам оказывали влияние погодные условия. Максимальное накопление белка зафиксировано в засушливых условиях 2021 г. (25,92–27,43 %). По данным исследований, это обусловлено тем, что во время налива семян стрессовые условия приводят к снижению сухой массы семени и повышению концентрации белка (Dürr C., 2018; Катюк, 2021). В 2023 г. у большинства сортов был заложен минимальный потенциал, значение показателя составляло 20,17–23,43 %.

В годы исследования сорт Указ по накоплению белка находился на уровне стандарта Ватан или превышал его в пределах 0,46–1,37 %. У сорта нового поколения Нарат белка в семенах содержалось выше стандарта максимально на 1,51 % в 2023 году. У сорта Салават высокий потенциал показателя был заложен в 2021 г. (26,52 %), в остальные годы соответствовал сорту Ватан. Среди изученных генотипов с высокими продовольственными свойствами выделена линия K/64 с максимальным содержанием белка за все годы исследований. Значения показателя превышали стандарт Ватан и сорта Указ, Нарат, Салават и достигали

максимально 27,47 %. К ценным по качеству относятся сорта с накоплением белка на уровне или выше 24,0 %.

В повышении валового сбора белка на единицу площади важная роль принадлежит величине урожая. Целенаправленной селекционной работой удалось создать генотипы с сочетанием повышенной урожайности и повышенного содержания белка в семенах. Таковыми являлись сорт Нарат и линия K/64. Высокое значение валового сбора белка обусловлено повышенным содержанием белка и урожайности. Величина показателя у сорта Нарат преобладала в 2022 г., а линия K/64 имела преимущество в 2023 и 2024 годах.

Согласно классификатору ВИР (1981 г.), представленные морфотипы относились к группе со средней крупностью семян – в пределах 215,3–242,8 г. По годам масса 1000 семян варьировала от 192,3 до 257,5 г.

Засушливые условия повлияли на снижение крупности семян и менялась в пределах 192,3–205,4 г. В 2023 и 2024 гг. среди изученных сортов стандарт Ватан характеризовался наиболее крупными семенами – 257,3 и 272,6 г. соответственно (табл. 4).

Таблица 4. Характеристика продовольственных сортов гороха по крупности семян, 2021–2024 гг.
Table 4. Characteristics of food pea varieties according to seed size, 2021–2024

Сорт	Масса 1000 семян, г				
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее значение
Ватан ст.	196,3	244,9	257,3	272,6	242,8
Указ	199,6	229,0	230,4	257,5	229,1

Продолжение табл. 4

Сорт	Масса 1000 семян, г				
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	среднее значение
Нарат	192,3	224,7	217,3	227,1	215,3
Салават	197,4	236,8	249,6	225,0	227,2
К/64	205,4	245,7	250,8	234,8	234,2
HCP ₀₅	не значима	15,9	9,50	6,11	

По массе 1000 семян сорта Указ, Салават и линия К/64 располагались на уровне стандарта. Для сорта Нарат характерно снижение показателя в среднем до 215,3 г, по годам значение признака варьировалось от 192,3 до 227,1 г.

Продовольственные свойства семян оценивали по времени варки, коэффициенту раз-

варимости, значения которых должны быть выше 150 мин и не ниже 2,4 ед.

Все сорта обладали хорошими кулинарными свойствами и относились к группе со средней и хорошей разваримостью семян. В условиях 2022 и 2024 гг. для варки семян линии К/64 потребовалось минимальное время – 105 мин (табл. 5).

Таблица 5. Кулинарные свойства продовольственных сортов гороха, 2021–2024 гг.
Table 5. Culinary properties of food pea varieties, 2021–2024

Сорт	Разваримость, мин				среднее значение	Коэффициент разваримости, ед.				среднее значение
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.		2021	2022	2023	2024	
Ватан, ст.	130	120	125	120	123,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
УКаз	150	135	135	120	135,0	2,5	2,3	2,4	2,5	2,4
Нарат	135	120	150	105	127,5	2,3	2,4	2,5	2,3	2,4
Салават	125	120	105	120	117,5	2,5	2,6	2,6	2,4	2,5
К/64	120	105	120	105	112,5	2,4	2,3	2,5	2,3	2,3

За такой же период времени в разные годы высокие показатели разваримости семян достигли сорта Нарат и Салават. Следовательно, именно эти сорта являются взаимодополняющими. Линия К/64 с высоким содержанием белка и хорошими кулинарными свойствами представляет перспективу и будет рекомендована для передачи на Государственное сортиспытание в качестве нового продовольственного сорта гороха.

Выводы. Все сорта зернового направления использования соответствуют требованиям продовольственных сортов, ценные по качеству, обладают высокими кулинарными свойствами. Характеризуются округлыми семенами средней крупности. Новые сорта Нарат,

Салават и линия К/64 отличаются более высоким потенциалом урожайности, хорошей разваримостью семян по сравнению с ранее созданными сортами Ватан и УКаз. У сорта Нарат в процессе селекции удалось достичь снижения крупности семян до 227,1 г по сравнению с другими возделываемыми сортами. У сорта Нарат и линии К/64 повышение валового сбора белка в отдельные годы обеспечивалось за счет повышения урожайности и содержания белка. Перспективу представляет линия К/64, которая характеризуется высоким содержанием белка (23,4–27,47%) с минимальным временем варки – в среднем 112 мин.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания №125031003428-9.

Библиографический список

- Гончаров С.В., Коробова Н.А. Перспективные направления селекции гороха // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 13–17. DOI: 10.28983/asj. y2022i9pp13-17
- Давлетов Ф.А., Нигматуллина Г.М., Гайнуллина К.П., Плешков А.В., Сафин Ф.Ф. Новый сорт зернового гороха Памяти Попова // Зерновое хозяйство России. 2020. № 2(68). С. 61–65. DOI:10.31367/2079-8725-2020-68-2-61-65
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.
- Зеленов А.Н., Зеленов А.А. Сто лет Орловской селекции гороха. Итоги и перспективы // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 2(42). С. 41–59. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-41-59
- Зеленов А.А., Задорин А.М., Зеленов А.А., Кононова М.Е. Селекция усатых сортов гороха в ФНЦ зернобобовых и крупяных культур // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 1(33). С. 4–10. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11147
- Зотиков В.И., Вилюнов С.Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25(4). С. 381–387. DOI 10.18699/VJ21.04C 381-387
- Катюк А.И. Формирование белка и пищевые достоинства перспективных линий гороха в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрный вестник Урала. 2021. №12(215). С. 41–49 DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-41-49
- Лихачева Л.И., Москалев А.В., Лихачева Н.В., Матолинец Н.Н. Новый детерминантный сорт гороха посевного Метеор // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 1. С. 33–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-33-39

9. Майстренко О.А. Урожайность и основные хозяйственno ценные признаки лучших селекционных линий гороха Самарского НИИСХ // Зерновое хозяйство России. 2025. Т.17. № 1. С. 40-46. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-40-46

10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур // Гос. комиссии по сортоиспытанию с.-х. культур при Министерстве сельского хозяйства РФ. М., 2019. Вып. 1. Общая часть. – 329 с.

11. Смиряев А.В., Мартынов С.П., Кильчевский А.В. Биометрия в генетике и селекции растений. Москва. Изд-во МСХА, 1992. 268 с.

12. Фадеева А.Н., Шурхаева К.Д. Адаптивные свойства сортов гороха селекции Татарского НИИСХ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 4(36). С. 5–14. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-4-5-14

13. Шурхаева К.Д., Фадеева А.Н., Абросимова Т.Н., Кириллова Е.С., Сайфутдинова Д.Д. Новый сорт гороха Нарат с ценными свойствами по качеству белка // Зернобобовые и крупяные культуры. 2023. № 4 (48). С. 156–161. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-156-161

14. Dürr C., Brunel-Muguet S., Girousse C. et al. Changes in seed composition and germination of wheat (*Triticum aestivum*) and pea (*Pisum sativum*) when exposed to high temperatures during grain filling and maturation // Crop and Pasture Science. 2018. Vol. 69 (4). P. 384–386. DOI: 10.1071/CP17397

References

1. Goncharov S.V., Korobova N.A., Perspektivnye napravleniya selektsii gorokha [Promising directions in pea breeding]// Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2022. № 9. S. 13–17.
2. Davletov F.A., Nigmatullina G.M., Gainullina K.P., Pleshkov A.V., Safin F.F. Novyi sort zernovogo gorokha Pamyati Popova [A new grain pea variety 'Pamyati Popova'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 2(68). S. 61–65. DOI:10.31367/2079-8725-2020-68-2-61-65
3. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [Methodology of a field trial (with basics of statistical analysis of the study results)]. M.: Al'yans, 2011. 352 s.
4. Zelenov A.N., Zelenov A.A. Sto let Orlovskoi selektsii gorokha. Itogi i perspektivy [One hundred years of pea breeding in Oryol: results and prospects]// Zernobobovye i krupyanie kul'tury. 2020. № 1(33). S. 4–10.
5. Zelenov A.A., Zadorin A.M., Zelenov A.A., Kononova M.E. Selektsiya usatykh sortov gorokha v FNTs zernobobovyykh i krupyanyykh kul'tur [Breeding of leafless pea varieties at the FSC of Legumes and Groat Crops]// Zernobobovye i krupyanie kul'tury. 2022. № 2(42). S. 41–59. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-2-41-59
6. Zotikov V.I., Vilyunov S.D. Sovremennaya selektsiya zernobobovyykh i krupyanyykh kul'tur v Rossii [Modern breeding of legumes and groat crops in Russia]// Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. № 25(4). PP. 381–387. DOI 10.18699/VJ21.04S 381-387
7. Katyuk A.I. Formirovanie belka i pishchevye dostoинства perspektivnykh linii gorokha v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Protein formation and nutritional value of promising pea lines in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Agrarnyi vestnik Urala. 2021. № 12(215). S. 41–49. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-41-49
8. Likhacheva L.I., Moskalev A.V., Likhacheva N.V., Matolinets N.N. Novyi determinantrnyi sort gorokha posevnogo Meteor [A new determinate pea variety 'Meteor'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii / 2025. T.17, № 1. S. 33–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-33-39
9. Maistrenko O.A. Urozhainost' i osnovnye khozyaistvenno tsennyye priznaki luchshikh selektsionnykh linii gorokha Samarskogo NIISKh [Productivity and main economically valuable traits of the best pea breeding lines from the Samara RIA] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2025. T.17, № 1. S. 40–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-40-46
10. Metodika gosudarstvennogo soroispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops] // Gos. komissii po soroispytaniyu s.-kh. kul'tur pri Ministerstve sel'skogo khozyaistva RF. M., 2019. 'Vyp.1. Obshchaya chast'. – 329 s.
11. Smiryev A.V., Martynov S.P., Kil'chevskij A.V. Biometriya v genetike i selekcii rastenij [Biometry in Genetics and Plant Breeding].Moskva. Izd-vo MSHA, 1992. 268 s.
12. Fadеeva A.N., Shurkhaeva K.D. Adaptivnye svoistva sortov gorokha selektsii Tatarskogo NIISKh [Adaptive properties of pea varieties developed at the Tatar RIA] // Zernobobovye i krupyanie kul'tury. 2021. № 4 (36). S. 5–14.
13. Shurkhaeva K.D., Fadеeva A.N., Abrosimova T.N., Kirillova E.S., Saifutdinova D.D. Novyi sort gorokha Narat s tsennymi svoistvami po kachestvu belka [A new pea variety 'Narat' with valuable protein quality properties] // Zernobobovye i krupyanie kul'tury. 2023. № 4 (48). S. 156–161. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-156-161
14. Dürr C., Brunel-Muguet S., Girousse C. et al. Changes in seed composition and germination of wheat (*Triticum aestivum*) and pea (*Pisum sativum*) when exposed to high temperatures during grain filling and maturation // Crop and Pasture Science. 2018. Vol. 69 (4). P. 384–386. DOI: 10.1071/CP17397.

Поступила: 19.05.25; доработана после рецензирования: 24.06.25; принята к публикации: 03.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плаагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шурхаева К.Д. – концептуализация исследования, постановка цели, подготовка рукописи; Абросимова Т.Н. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Хуснутдинова А.Т. – статистический анализ данных и их интерпретация; Саубанова Г.Р., Казеева Н.А. – выполнение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM DURUM DESF.*) В ПРОЦЕССЕ СЕЛЕКЦИИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ В УСЛОВИЯХ АЛТАЯ

М.А. Розова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий лабораторией селекции твердой пшеницы, mrosova@yandex.ru; ORCID ID: 0000-0002-0119-5693;

Е.Е. Егiazарян¹, научный сотрудник, заведующий лабораторией семеноводства, Egiazaryan.eg@mail.ru; ORCID ID: 0009-0000-0751-1629;

О.А. Ляпунова², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела ГР пшеницы ВИР, o.liapounova@vir.nw.ru; ORCID ID: 0000-0003-2164-4510

¹ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», 656910, г. Барнаул, пос. Научный городок, 35;

²«Федеральный исследовательский центр

Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44

Цель исследований – выявить направления и величины изменений урожайности и ее элементов на современном этапе селекции на урожайность яровой твердой пшеницы в ФГБНУ ФАНЦА. В 2020–2023 гг. в блоке конкурсного испытания проведено изучение урожайности и ее элементов у сортов твердой пшеницы, созданных в последнее десятилетие в ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий», Солнечная 573, Оазис, Шукшинка, АТП Прима и АТП Партнер относительно сорта-стандарта Памяти Янченко. Урожайность сортов Солнечная 573 и АТП Прима осталась на уровне стандарта, урожайность сортов Оазис, Шукшинка и АТП Партнер выше на 5,1–6,2 %. В условиях минимальной и максимальной в опыте урожайности, последние 3 сорта превосходят стандарт, остальные формируют равную урожайность. Масса зерна растенияния возросла на 1,6–15,2 %, главного колоса – на 3,7–33,6 %, озерненность главного колоса – на 9,8–29,9 %. Параметры густоты посева не претерпели существенных изменений. Масса 1000 зерен в среднем снизилась на 5,8 %, а у сорта Оазис повысилась на 4,2 %. Разнонаправленно изменилась высота растений – у сортов Шукшинка, АТП Прима и АТП Партнер она ниже на 5–11 %, у Солнечной 573 и Оазиса выше на 8 и 5 %. Наземная масса растений на 2–18 % больше стандарта. Урожайность тесно связана с массой растения (0,82***), массой зерна растения (0,80***), главного колоса (0,79***) и побега кущения (0,77**), озерненностью (0,63*), слабее – с массой 1000 зерен (0,40). Масса зерна растения связана с его массой (0,93***), массой зерна главного колоса (0,93***), побега кущения (0,77**). Масса зерна главного колоса определялась озерненностью на 74 % и массой 1000 зерен на 15 %. В экологическом испытании новые сорта превосходили стандарта на 3,9 – 46,8 %. Высокая продуктивность новых сортов Шукшинка и АТП Прима реализована в хозяйствах Алтайского края на уровне 5,0 т/га.

Ключевые слова: селекция, твердая пшеница, сорт, урожайность, элементы структуры урожая, корреляция.

Для цитирования: Розова М.А., Егiazарян Е.Е. Ляпунова О.А. Изменение элементов структуры урожая яровой твердой пшеницы (*TRITICUM DURUM DESF.*) в процессе селекции на продуктивность в условиях Алтая // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 6. С. 17–24. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-17-24.



CHANGES IN YIELD STRUCTURE ELEMENTS OF SPRING DURUM WHEAT (*TRITICUM DURUM DESF.*) WHEN BREEDING FOR PRODUCTIVITY IN ALTAI

М.А. Розова¹, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, head of the laboratory for durum wheat breeding, ,mrosova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-0119-5693;

Е.Е. Егiazарян¹, researcher, head of the laboratory for seed production, Egiazaryan.eg@mail.ru; ORCID ID: 0009-0000-0751-1629;

О.А. Ляпунова², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of wheat genetic resources of VIR, o.liapounova@vir.nw.ru, ORCID ID: 0000-0003-2164-4510

¹FSBSI “Federal Altai Research Center of Agrobiotechnology”, 656910, Barnaul, Nauchny Gorodok, 35;

²FSBSI “Federal Research Center

All-Russian Institute of genetic resources of plants named after N.I. Vavilov”, 190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya Str., 42/44

The purpose of the current study was to identify the directions and magnitudes of yield changes and their structure elements at the current stage of breeding spring durum wheat for productivity at the FSBSI FASCA. From 2020 to 2023, in the competitive testing block there was studied the yield and its structure elements of durum wheat varieties ‘Solnechnaya 573’, ‘Oazis’, ‘Shukshinka’, ‘ATP Prima’, and ‘ATP Partner’ developed at the Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology in the last decade, relative to the standard variety ‘Pamyati Yanchenko’. Productivity of the varieties ‘Solnechnaya 573’ and ‘ATP Prima’ remained at the standard level. Productivity of ‘Oazis’, ‘Shukshinka’, and ‘ATP Partner’ increased by 5.1–6.2 %. Under conditions of minimal and maximal yield realization the later three cultivars yielded better than the check and another two were equal to it. Grain weight per plant increased by 1.6–

15.2 %, main ear weight increased by 3.7–33.6 %, and grain number per main ear increased by 9.8–29.9 %. Sowing density parameters did not undergo significant changes. The trait '1000-kernel weight' decreased by 5.8% on average, while the variety 'Oazis' increased this trait by 4.2 %. Plant height varied in different directions, namely the varieties 'Shukshinka', 'ATP Prima', and 'ATP Partner' decreased their plant height by 5–11 %, while the varieties 'Solnechnaya 573' and 'Oazis' improved it by 8 % and 5 %. The above-ground weight of plants was 2–18 % higher than that of the standard. Productivity closely correlated with plant weight (0.82***), grain weight per plant (0.80***), main ear weight (0.79***), and a tillering shoot (0.77**), and grain content (0.63*), but poorly correlated with 1000-kernel weight (0.40). Grain weight per plant was related to its weight (0.93***), grain weight per main ear (0.93***), and a tillering shoot (0.77**). Grain weight per main ear was determined by grain content by 74 % and 1000-kernel weight by 15 %. In ecological testing, the new varieties exceeded the standard by 3.9–46.8 %. The large productivity of the new varieties 'Shukshinka' and 'ATP Prima' has been realized at farms in the Altai Territory at a level of 5.0 t/ha.

Keywords: breeding, durum wheat, variety, productivity, yield structure elements, correlation.

Введение. Для эффективного селекционного улучшения сортов полевых культур на современном этапе необходимо на основании знаний о требованиях перерабатывающей промышленности, природно-климатического потенциала зоны научного обеспечения, практикуемых технологий возделывания культуры разработать модели сортов с учетом продолжительности вегетационного периода, степени интенсивности и наметить стратегии их реализации. В селекционном центре Алтайского НИИ сельского хозяйства на основании проведенных исследований и накопленных знаний была сформирована программа продолжения исследований по селекции полевых культур сроком на 2011–2030 гг. (Korobeinikov et al., 2011), в которой обозначены основные параметры моделей сортов основных полевых культур, включая яровую твердую пшеницу. За прошедший с 2011 г. период создан ряд сортов с улучшенными относительно стандартов агрономически значимыми характеристиками. Создано 6 сортов яровой твердой пшеницы: Памяти Янченко (год внесения в реестр селекционных достижений – 2012-й), Солнечная 573 (2016 г.), Оазис (2017 г.), Шукшинка (2022 г.), АТП Прима (2023 г.) и АТП Партнер (2024 г.).

Урожайность пшеницы является производной от количества растений на единице площади и массы зерна с каждого растения. В процессе формирования урожайности растения реагируют на внешние условия. Критическими периодами для твердой пшеницы являются межфазные периоды «кущение–выход в трубку» и «колошение – начало формирования зерна» (Rozova et al., 2010; Xynias et al., 2020). Детерминация урожайности в системе «сорт – условия – взаимодействие генотип x среда» меняется в зависимости от динамики погодных факторов и набора изучаемых сортов. Ценность представляют формы с высоким уровнем реализации потенциала урожайности и стабильностью при смене обстоятельств их тестирования (Rozova et al., 2010).

Совершенствование урожайности сортов может происходить различными путями (Gholamin et al., 2020; Mal'chikov et al., 2023). Большинство исследователей подчеркивают значительный эффект в повышении урожайности массы зерна с колоса и озерненности колоса (Peltonen-Sainio et al., 2007; Samophalov et al., 2018; Kir'yakova et al., 2019; Nofouzi, 2024),

или же массы колоса, массы 1000 зерен и Кхоз (Xynias et al., 2020; Ivanisova, 2022; Gholamin et al., 2024), озерненности 1 м² и биомассы растения (Rozova et al., 2016; Xynias et al., 2020). В Финляндии на основании 30-летних исследований в экологических опытах показано, что озерненность колоса находится в сильной зависимости от условий произрастания и ее связь с урожайностью выше, чем массы 1000 зерен (Peltonen-Sainio et al., 2007). При создании сортов интенсивного типа результивативным может быть повышение озерненности колоса, длины колоса и его крупности (Samophalov et al., 2018). Высокие уровни массы 1000 зерен и массы главного колоса могут являться индикаторами увеличения урожайности (Gholamin et al., 2020). В условиях изменения климата и повышения в воздухе содержания озона крупность зерна оказывает положительное влияние на продуктивность пшеницы (Quan et al., 2025).

Разработка молекулярно-генетических подходов позволила выявить генетические структуры, связанные с признаками продуктивности. Недавние исследования чилийских и итальянских ученых показали, что урожайность твердой пшеницы и ее структурные компоненты контролируются многими QTL с малыми эффектами (Arriagada et al., 2022). Так, например, итальянскими исследователями для получения эффективных стрессоустойчивых генотипов 421 QTL был сгруппирован в 76 Мета-QTL, связанных с урожайностью и ее элементами, как в условиях естественного увлажнения, так и при орошении. Стабильные QTL были распределены по 12 геномными регионами практически всех хромосом, за исключением 1A, 4A, 5A и 6B. В этих QTL находятся 15 генов с разной экспрессией в условиях засухи.

Цель исследования – выявить направления и величины изменений урожайности и ее элементов на современном этапе селекции на урожайность яровой твердой пшеницы в ФГБНУ ФАНЦА.

Материалы и методы исследований. Материалом для выполнения исследований послужили пять сортов яровой твердой пшеницы, созданных в Федеральном Алтайском научном центре агробиотехнологий (ФАНЦА): Солнечная 573, Оазис, Шукшинка, АТП Прима, АТП Партнер, изучавшиеся в блоке конкурс-

ного сортоиспытания вместе с другими линиями. Стандарт Памяти Янченко рекомендован Госсорткомиссией РФ для сортоиспытания твердой пшеницы в Алтайском крае. По продолжительности вегетации Солнечная 573, Шукинка и АТП Партнер относятся к среднеспелой группе, Оазис и АТП Прима – к среднепоздней, стандарт Памяти Янченко включен в реестр селекционных достижений как среднеспелый сорт.

Полевые опыты были заложены на стационаре лаборатории селекции твердой пшеницы отдела АНИИСХ ФГБНУ ФАНЦА, расположенного в Приобской лесостепи Алтайского края, в 2020–2023 годах. Делянки закладывали по черному пару. Посев осуществляли сеялкой ССФК-7, норма высева – 5 млн всхожих зерен/га. По всходам в двух несмежных повторениях устанавливали учетные площадки для определения структуры урожая. В это же время делянки опрыскивали инсектицидом, в период «кущение – выход в трубку» посевы обрабатывали баковой смесью граминицидов и дикотицидов. Площадь делянки 20 м², повторность четырехкратная. Уборку осуществляли комбайном Wintersteiger Classic. Статистическую обработку данных конкурсного сортоиспытания 3-го года, в котором изучали новые сорта, выполняли по Б.А. Доспехову (Dospelkov, 2014).

Для определения перспективности сортов с точки зрения экологической пластичности в 2023 г. было проведено испытание сортов в различных экологических точках Российской Федерации: в К(Ф)Х Студенов М.К. Алтай-

ского края – по пару (Алтайский край, пар), в ОП «Троицкое» Челябинской обл. – по пару и зерновым (Челябинская область, пар, зерновые); в ООО «Агропродукт» Волгоградской области – по пару и озимой пшенице (Волгоградская обл., пар, озимая пшеница) и в КХ Волков В.А. Курганской обл. – по пару (Курганская обл., пар).

Погодные условия лет изучения отличались разнообразием. ГТК за май и его декады ежегодно был низким – 0,18–0,40. Наиболее благоприятные условия сложились в 2022 г. (табл. 1), когда при слабом обеспечении атмосферной влагой в мае, но при достаточных осенне-зимних запасах влаги в почве, обильном количестве осадков в июне и июле (ГТК соответственно 2,06 и 0,98) в блоке конкурсного испытания была получена урожайность 6,0 т/га – самая высокая за последние 40 лет. В другие годы урожайность была много ниже: в 2020 г. – 3,55, в 2021 г. – 4,48 и в 2023 г. – 3,80 т/га. Тем не менее уровень урожайности в годы исследований был выше среднего значения за многолетний период – 3,2 т/га. Из четырех лет изучения выделялся 2023 год. Вегетационный период проходил на фоне незначительных осадков в начале вегетации и до 14 июня, в начале июня наблюдалась крайне жаркая погода в течение 6 дней, а при достижении посевом полной спелости установилась дождливая погода на протяжении 12 дней, приведшая к сильному прорастанию зерна.

Таблица 1. Погодные условия периода вегетации яровой твердой пшеницы, 2020–2023 гг.
Table 1. Weather conditions during the vegetation period of spring durum wheat, 2020–2023

Декада, месяц	Температура, °С					Осадки, мм				
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Норма*	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Норма*
I	12,9	13,7	12,0	11,2	10,6	13,0	0,5	1,2	1,5	15
II	20,7	16,0	19,2	10,9	13,1	0,3	16,3	0,8	3,8	13
III	16,8	17,5	20,1	14,0	14,7	18,1	1,8	2,6	4,8	14
Май	16,8	15,6	17,2	12,1	12,9	31,4	18,6	4,6	10,1	42
I	15,2	17,4	13,3	23,8	17,0	10,6	23,9	27,8	24,6	15
II	17,2	18,4	20,2	18,7	18,2	12,2	13,2	60,6	3,6	13
III	20,2	14,9	21,1	16,7	19,5	2,4	50,0	22,8	16,7	19
Июнь	17,5	16,9	18,2	19,7	18,2	25,2	87,1	111,2	44,9	47
I	20,7	20,9	18,1	19,9	19,9	12,6	6,8	41,7	12,0	15
II	21,2	18,1	18,5	22,9	20,6	16,4	15,3	0,4	18,2	18
III	18,2	19,9	19,9	21,4	19,4	38,7	2,9	13,9	44,9	31
Июль	20,2	20,1	18,8	21,4	19,9	67,7	25,0	56,0	75,1	64
I	21,1	20,3	18,9	20,7	19,1	17,5	10,8	9,7	14,4	18
II	19,0	17,1	15,7	15,3	17,8	11,9	13,7	5,1	50,8	16
III	16,4	17,6	15,9	19,1	16,0	23,9	3,5	1,3	9,4	15
Август	18,8	18,3	16,8	18,4	17,6	53,3	28,0	16,1	79,6	49

Примечание. * – среднемноголетнее значение.

Результаты и их обсуждение. В условиях данного эксперимента сорта твердой пшеницы сформировали урожайность на уровне среднемноголетней (3,2 т/га) и выше – в среднем по опыту 4,45 т/га при изменении по вариантам от 3,12 до 6,41 т/га (см. табл. 2). В 2020 г. она составила 3,48 т/га, в 2021 г. – 4,53 т/га, в 2022 г. –

6,03 т/га и в 2023 г. – 3,76 т/га. Урожайность стандарта Памяти Янченко составила 4,35 т/га с колебаниями от 3,21 до 5,68 т/га (табл. 2).

Сорта Солнечная 573 и АТП Прима имели близкую к стандарту среднюю по годам урожайность, остальные превосходили его. Наиболее высокая урожайность отмечена у среднепозд-

него сорта Оазис (4,62 т/га, или +6,2 % к стандарту) и среднеспелых сортов Шукшинка (4,59 т/га, или 5,5 %) и АТП Партнер (4,57 т/га, или 5,1 %). В 2020 г., при самой низкой урожайности в опыте, новые сорта были урожайнее стан-

дарты, за исключением сорта Солнечная 573 с близким к стандарту значением (см. табл. 2). Высокие значения минимальной урожайности реализовали Шукшинка и АТП Прима – 3,68 т/га, или +14,6 %.

Таблица 2. Урожайность новых сортов яровой твердой пшеницы, т/га (2020–2023 гг.)
Table 2. Productivity of the new spring durum wheat varieties, t/ha (2020–2023)

Сорт	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	средняя	min–max	b_i^*
Памяти Янченко, ст.	3,21	4,77	5,68	3,75	4,35	3,21–5,68	0,93
Солнечная 573	3,12	4,45	5,80	3,54	4,23	3,18–5,80	1,03
Оазис	3,58	4,43	6,41	4,07	4,62	3,58–6,41	1,06
Шукшинка	3,68	4,65	6,22	3,82	4,59	3,68–6,22	1,02
АТП Прима	3,68	4,22	5,85	3,58	4,33	3,68–5,85	0,91
АТП Партнер	3,61	4,68	6,22	3,78	4,57	3,61–6,22	1,05
средняя	3,48	4,53	6,03	3,76	4,45	3,48–6,03	
$HCP_{0,05}$	0,24	0,25	0,26	0,24	0,16		

* – коэффициент регрессии по Eberhart, Russell (1966)

Верхний предел полученной урожайности говорит об отзывчивости сорта на улучшение погодных условий. В 2022 г. максимальная урожайность получена у среднепозднего сорта Оазис (6,41 т/га, +12,9 %). Кроме него, высокой продуктивностью характеризовались и два среднеспелых сорта – Шукшинка и АТП Партнер (6,22 т/га, +9,5 %). Сходство этих двух сортов по реакции на условия вполне может быть связано с их общим происхождением – индивидуальный отбор из популяции Памяти Янченко / Памяти Чеховича, хотя по морфобиологическим признакам они существенно отличаются между собой. Урожайность сортов Солнечная 573 и АТП Прима слабо отличалась от стандарта (+2–3 %).

Коэффициенты регрессии по Эберхарту и Расселу (Eberhart, Russel, 1966) свидетельствуют о том, что сорта адекватно реагируют на изменения условий возделывания и обладают хорошим уровнем фенотипической стабильности: $b_i = 0,91–1,06$. С учетом этого показателя, средней урожайности и пределов варьирования к числу экологически пластичных следует отнести сорта Оазис, Шукшинка и АТП Партнер.

Таким образом, большинство новых сортов на фоне удовлетворительного обеспечения

потребности растений в тепле и влаге (2020 г.) формировали повышенную относительно стандарта урожайность. На наиболее благоприятном фоне 2022 г. самыми продуктивными были сорта Оазис, Шукшинка и АТП Партнер, что говорит об их хорошей отзывчивости на внешние условия.

Величины элементов структуры урожая в среднем за 4 года представлены в таблице 3. Несмотря на то что норма высеяния составляла 5 млн всхожих зерен на 1 га, к уборке сохранилось от 311 до 375 растений в зависимости от сорта, что обеспечивало 399–443 колосоносных стеблей на 1 м². Из-за высоких значений НСР по этим показателям достоверных различий по густоте между сортами не выявлено. Продуктивная кустистость в среднем за 4 года составляла 1,13–1,30 стеблей на одно растение, и самой высокой она была у сорта-стандarta Памяти Янченко. Значительно ниже кустистость у позднеспелых сортов Оазис и АТП Прима (1,13), но при этом у сорта АТП Прима было самое большое количество растений, что компенсировало слабое кущение. Оазис, не имея преимуществ по густоте стояния растений, имел меньшую густоту стеблестоя.

Таблица 3. Элементы структуры урожая новых сортов яровой твердой пшеницы, 2020–2023 гг.

Table 3. Yield structure elements of the new spring durum wheat varieties, 2020–2023

Элементы структуры урожая	Памяти Янченко, ст.	Солнечная 573	Оазис	Шукшинка	АТП Прима	АТП Партнер	$HCP_{0,05}$
Высота растений, см	104	112	109	99	93	98	6
Количество растений на 1 м ²	311	323	347	350	375	337	68
Количество продуктивных побегов на 1 м ²	442	443	399	427	442	438	71
Продуктивная кустистость, шт.	1,30	1,23	1,13	1,21	1,13	1,25	0,10
Масса растения, г	3,15	3,34	3,72	3,25	3,22	3,42	0,37
Озерненность колоса, шт.	21,4	23,5	25,4	27,0	27,8	26,7	1,7
Масса 1000 зерен, г	49,9	46,1	52,1	46,9	44,2	45,5	2,6
Масса зерна с главного колоса, г	1,07	1,11	1,32	1,24	1,24	1,43	0,10
Масса зерна с дополнительного побега, г	0,77	0,74	0,77	0,92	0,82	0,77	0,24

Продолжение табл. 3

Элементы структуры урожая	Памяти Янченко, ст.	Солнечная 573	Оазис	Шукшинка	АТП Прима	АТП Партнер	НСР _{0,05}
Средняя масса зерна дополнительного побега на растение, г	0,21	0,18	0,12	0,18	0,10	0,22	0,08
Масса зерна с растения, г	1,25	1,27	1,44	1,41	1,34	1,43	0,15

Относительно стандарта все новые сорта характеризовались повышенными значениями массы зерна главного колоса (+0,04–0,36 г), растения (+0,02–0,18 г) и озерненности колоса (+2,1–6,4 зерна). У сорта Солнечная 573 превышение по первым двум показателям статистически не доказано, у сорта АТП Прима не доказано по массе зерна с растения.

Изучение связи урожайности с элементами структуры на основе фенотипических коэффициентов корреляции показало, что количество растений и продуктивных побегов с 1 м² практически не влияют на результирующий признак: коэффициенты корреляции составили -0,14 и 0,16 соответственно (табл. 4). При этом

выражена положительная связь с продуктивной кустистостью (0,69**). С урожайностью тесно коррелируют масса зерна растения (0,80***), масса зерна главного колоса (0,79***) и масса зерна побега кущения (0,77**). Немного ниже коэффициент корреляции с озерненностью колоса – 0,63*. Наземная масса самого растения характеризовалась самым высоким значением коэффициента корреляции (0,82). Эффект массы 1000 зерен на урожайность был статистически не доказанным, что можно объяснить высокой массой 1000 зерен у стандарта и его невысокой продуктивностью относительно новых сортов.

Таблица 4. Фенотипические коэффициенты корреляции урожайности

и элементов ее структуры

Table 4. Phenotypic correlation coefficients of yield and its structure elements

Элемент структуры урожая	Урожайность	Масса зерна растения	Масса зерна главного колоса
Количество растений /1 м ²	-0,14	0,23	0,14
Количество стеблей/ 1 м ²	0,16	0,47	0,27
Высота растений	0,42	0,58*	0,43
Продуктивная кустистость	0,69**	0,72**	0,48
Масса растения	0,82***	0,93***	0,87***
Длина колоса	0,33	0,49	0,66**
Количество колосков в колосе	0,48	0,58*	0,74**
Озерненность главного колоса	0,63*	0,78***	0,86***
Масса зерна главного колоса	0,79***	0,93***	–
Масса зерна дополнительного побега	0,77**	0,85***	0,77**
Масса зерна дополнительного побега на растение	0,60*	0,79***	0,52
Масса зерна растения	0,80****	–	0,93***
Масса 1000 зерен	0,38	0,39	0,39

Примечание. * – достоверно при вероятности 95 %, ** – при вероятности 99 %, *** – при вероятности 99,9 %.

Величина коэффициента корреляции показывает, что продуктивность отдельного растения находилась в функциональной связи с его наземной массой (0,93***), массой зерна главного колоса (0,93***) и дополнительного побега (0,85***). В свою очередь, для массы зерна главного колоса ведущую роль играла озерненность (0,86***) и наземная масса растения (0,87***). Связь с массой 1000 зерен невысокая – 0,39 и статистически не доказана. Возможно, что эффект крупности зерна был невысоким вследствие проведения эксперимента в спектре достаточно благоприятных условий, тогда как он более выражен в засушливых условиях (Rozova et al., 2016; Grabovetz et al., 2019). Приоритет озерненности в детерминации продуктивности растений и урожайности в целом подтверждается многочисленными литературными данными (Garcia del Moral et al.,

2003; Rozova et al., 2010; Nofouzi, 2018; Ivanisova, 2022; Mal'chikov et al., 2023). Озерненность, в свою очередь, тесно связана с количеством продуктивных колосков в колосе – 0,74**, наземной массой растений – 0,66 и длиной колоса – 0,66**.

На фенотипическом уровне наблюдается связь массы зерна растения и высоты растений (0,58*), что подтверждается литературными источниками и данными этого опыта. На генотипическом уровне ситуация выглядит иначе. При снижении высоты у сортов Шукшинка (-4,8 %), АТП Партнер (-5,8 %) и АТП Прима (-10,6 %) надземная масса растений не только не снижалась, а увеличивалась соответственно на 3,2; 8,6 и 2,2 %, что в пересчете на 10 см высоты было равно 0,328, 0,346 и 0,346 г соответственно при 0,303 г у стандарта Памяти Янченко. Следовательно, с пониже-

нием высоты растений высока вероятность сохранения и даже прироста совокупного банка ассимилятов.

Для определения перспективности сортов с точки зрения экологической пластич-

ности в 2023 г. было проведено их испытание в различных экологических зонах Российской Федерации (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность сортов яровой твердой пшеницы селекции ФАНЦА в экологическом и производственном испытании, 2023 г.
Table 5. Productivity of the spring durum wheat varieties developed by the FASCA in environmental and production trials, 2023

Сорт, линия	Алтайский край, пар	Челябинская обл.		Волгоградская обл.		Курганская обл., пар
		пар	зерновые	пар	зерновые	
Памяти Янченко, ст.	1,17	2,67	1,93	4,26	3,83	1,50
Солнечная 573	–	–	–	4,63	4,08	1,42
Оазис	–	3,75	2,34	–	–	1,10
Шукшинка	1,28	3,41	2,48	4,91	4,33	1,56
АТП Прима	1,30	4,48	2,71	–	–	2,20
АТП Партнер	1,28	3,02	2,08	4,26	4,08	1,23

Испытание сортов в различных экологических точках РФ показало, что новые сорта селекции ФАНЦА имеют значительное превышение по урожайности над стандартом в пяти случаях из шести (с учетом агрофонов). Наиболее жесткие условия сложились при испытании в Алтайском крае в КФХ М.К. Студенова в условиях Западно-Кулундинской степной зоны. Новые сорта имели прибавки урожая от 9,4 до 11,1 %. Низкий уровень урожайности сложился и в условиях степи Курганской области. Здесь сорта Оазис и АТП Партнер уступали сорту Памяти Янченко. Самые благоприятные условия наблюдали в 2023 г. в Волгоградской области. Высеванные здесь новые сорта Солнечная 573 и Шукшинка превосходили стандарт на обоих агрофонах, АТП Партнер по пару сформировал равную урожайность со стандартом, а по зерновым – на 0,25 т/га выше. Средняя прибавка урожая к стандарту по всем вариантам испытания составила: Солнечная 573 +0,18 т/га (6 %), Оазис +0,37 т/га (18,2 %), Шукшинка +0,44 т/га (17,1 %), АТП Прима +0,85 (46,7 %), АТП Партнер +0,10 т/га (3,9 %). Сорта Шукшинка и АТП Прима показали превышения разной степени во всех точках их испытания, что говорит об их экологической пластичности и перспективности использования в этих условиях. Кроме этих сортов, в Челябинской области могут успешно выращиваться Оазис и АТП Партнер, в Волгоградской области – Солнечная 573. Помимо урожайности, при выборе сорта твердой пшеницы сельхозтоваропроизводители учитывают ряд приоритетных показателей, прежде всего качества, а также устойчивости к абиотическим стрессам.

Реализация потенциала новых сортов в сельскохозяйственном производстве Алтайского края достигала 5 т/га. В 2024 г. в ООО «Новороссийское» Рубцовского района (степная зона) на сорте Шукшинка получена урожайность 5,2 т/га, в ООО «Хлебное» Родинского района (степная зона) на этом же сорте – 4,0 т/га; на полях размножения в ФГБНУ ФАНЦА в 2022 г. (Приобская лесостепь) урожайность сорта АТП Прима составила

5,0 т/га. Реализованный потенциал урожайности в контролльном и конкурсном сортоиспытании составил: по сорту Солнечная 573 – 5,68 т/га, Оазис – 6,16 т/га, Шукшинка – 6,90 т/га, АТП Прима – 7,56 т/га, АТП Партнер – 6,39 т/га, стандарта Памяти Янченко – 5,86 т/га.

Выводы. Таким образом, проведенная работа позволила выявить особенности формирования урожайности у новых сортов твердой пшеницы, созданных в ФГБНУ ФАНЦА, в сравнении с сортом-стандартом Памяти Янченко. Установлено, что по урожайности Оазис, Шукшинка, АТП Партнер превосходят стандарт на 5–10 % в среднем за годы изучения или же имеют одинаковую урожайность, но обладают лучшей отзывчивостью на условия среды и стабильностью.

Селекционным путем у новых сортов удалось увеличить надземную массу растений, массу зерна с главного колоса и растения, повысить озерненность колоса, сохранить густоту продуктивного стеблестоя; снизить высоту растений у сортов Шукшинка, АТП Прима и АТП Партнер. Новые сорта, за исключением сорта Оазис, уступали стандарту по массе 1000 зерен. Повышение урожайности положительно связано с надземной массой растения ($r = 0,82^{***}$), массой зерна растения ($0,80^{***}$) и главного колоса ($0,79^{***}$), массой зерна побега кущения ($0,77^{**}$), озерненностью главного колоса ($0,63^*$). Масса 1000 зерен имела меньшую связь с урожаем – 0,38. Масса зерна отдельного растения тесно связана с надземной массой растения ($0,93^{***}$), массой зерна с главного колоса ($0,93^{***}$), массой зерна побега кущения ($0,85^{***}$) и продуктивной кустистостью ($0,72^{**}$). Детерминация массы зерна с колоса в основном осуществлялась через озерненность ($r = 0,86^{***}$) и в меньшей степени – через массу 1000 зерен ($r = 0,39$).

В условиях широкого экологического испытания в сравнимых условиях новые сорта формировали урожайность на 3,9–46,8 % выше стандарта.

Финансирование. Работа выполнена в рамках реализации государственных зада-

ний ФГБНУ ФАНЦА по пункту 4.1.2. программы ФНИ в РФ на долгосрочный период Растениеводство, защита и биотехнология растений: № 0790-2014-0007 «Создание принципиально новых стрессоустойчивых сортов и гибридов зерновых, зернобобовых, масличных, просо-видных и сорговых культур, обладающих высокой и стабильной продуктивностью, повышенным качеством зерна и продуктов его переработки, на основе комплексного изучения генофонда, использования инфекционных

и провокационных фонов оценки селекционного материала», № 0534-2021-0002 «Создание новых сортов зерновых, зернобобовых, масличных и кормовых культур с высокими признаками продуктивности и качества, устойчивых к био- и абиострессорам, с широким спектром использования, включая кормопроизводство».

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Библиографический список

1. Грабовец А.И., Кадушкина В.П., Коваленко С.А. Совершенствование методологии селекции яровой твердой пшеницы в условиях меняющегося климата // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 3. С. 33–36. DOI: 10.30850/vrsn/2019/3/33-36
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 2014. 352 с.
3. Иванисова А.С. Оценка элементов структуры урожая коллекционных образцов озимой твердой пшеницы на юге Ростовской области // Аграрная наука. 2022. № 2. С. 62–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-62-66
4. Кирьякова М.И., Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Глушаков Д.А. Сравнительное изучение сортов твердой пшеницы по элементам продуктивности и пластичности // Вестник НГАУ. 2019. № 3. С. 33–39. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-33-39
5. Коробейников Н.И., Шукис Е.Р., Розова М.А., Борадулина В.А., Мусалитин Г.М., Гуркова Е.В., Кострова Л.И. Программа работ селекцентра Алтайского научно-исследовательского института сельского хозяйства // Под ред. Н.И. Коробейникова. Барнаул: ГНУ Алтайский НИИСХ, Сибирское региональное отделение, 2011.
6. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Развитие селекции яровой твердой пшеницы в России (странах бывшего СССР), результаты и перспективы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 27, № 6. С. 591–608. DOI: 10.18699/VJGB-23-71
7. Розова М.А., Зиборов А.И. Корреляционные связи урожайности яровой твердой пшеницы с элементами ее структуры в зависимости от уровня продуктивности генотипов и погодных условий в Приобской лесостепи Алтайского края // Вестник АГАУ. 2016. Т. 136, № 2. С. 44–49.
8. Розова М.А., Янченко В.И., Мельник В.М. Экологическая пластичность яровой твердой пшеницы на Алтае. Барнаул: Азбука, 2010. 151 с.
9. Самофалов А.П., Подгорный С.В., Скрипка О.В. Оптимальные параметры элементов продуктивности модельного сорта мягкой озимой пшеницы интенсивного типа для условий юга Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2018. Т. 60, № 6. С. 64–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-64-68
10. Arriagada O., Gadaleta A., Marcotuli I., Maccaferri M., Campana M., Reveco S., Alfaro Ch., Matus I., Schwember A.R. A comprehensive meta-QTL analysis for yield-related traits of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grown under different water regimes. *Frontiers in Plant Science. Front. Plant Sci.* 2022. Vol. 13. P. 984269. DOI: 10.3389/fpls.2022.984269. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.gov/36147234> [accessed 02.02.2024]
11. Garcia del Moral L.F., Rharrabti Y., Villegas D., Royo C. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenetic approach // *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 95. P. 266–274. DOI: 10.2134/agronj2003.2660.
12. Gholamin R., Khayatnezhad M. The Study of Path Analysis for Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Yield Components//Bioscience Biotechnology Research Communication. 2020. Vol. 13(4). DOI: <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/13.4/76>. Available from: <https://bbrc.in/the-study-of-path-analysis-for-durum-wheat-triticum-durum-desf-yield-components> [accessed 17.01.2024]
13. Nofouzi F. Evaluation of seed yield of durum wheat (*Triticum durum*) under drought stress and determining correlation among some yield components using path coefficient analysis // *Cuadernos de Investigación UNED*. 2018. Vol. 10(1). P. 179–183. DOI: 10.22.458/urj.v10i1.2023. Available from: www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662018000100179#:~:~ [accessed 15.01.2024]
14. Peltonen-Sainio P., Kangas A., Salo Y., Jauhainen L. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: Evidence based on 30 years of multi-location trials // *Field crop research*. 2007. Vol. 100. P. 179–188. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.07.002
15. Quan Y., Zhao ZH., Cao Y., Ma Quan., Zhu N., Song L., Zhu M., Li Ch., Ding J., Guo W., Zhu X. Renewal of wheat cultivars enhances ozon resistance in yield but detrimentally impacts quality a survey of Chinese wheat // *Frontier in plant Science*. 2025. Vol. 15: 1526846. DOI: 3589/tpis.2024.1526846. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1526846/full>. [accessed 04.02.2025]
16. Xynias I.N., Mylonas I., Korpetis E.G., Ninou E., Tsaballa A., Avdicos I.D., Mavromatis A.G. Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. P. 432. DOI: 10.3390/agronomy10030432. Available from: sci-hub.ru/10.3390/agronomy10030432 [accessed 15.01.2024]

References

1. Grabovetz F.B., Kadushkina V.P., Kovalenko S.A. Sovrshenstvovanie metodologii selekcii yarovoj tverdoj pshenicy v usloviyah menyayushchegosya klimata [Improving the methodology of spring durum

wheat breeding under changing climatic conditions] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2019. № 3. P. 33–36. DOI: 10.30850/vrsn/2019/3/33-36

2. Dospekho B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [Methodology of a field trial (with basics of statistical analysis of the study results)]. M.: Agropromizdat, 2014. 352 s.

3. Ivanisova A.S. Ocenna elementov struktury urozhaya kollecionnyh obrazcov ozimoj tverdoj pshenicy na yuge Rostovskoj oblasti [Estimation of yield structure elements of collection samples of winter durum wheat in the south of the Rostov region] // Agrarnaya nauka. 2022. T. 356 (2). P. 62–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-62-66

4. Kir'yakova V.I., Evdokimov M.G., Yusov V.S., Glushakov D.A. Sravnitel'noe izuchenie sortov tverdoj pshenicy po elementam produktivnosti i plastichnosti [Comparative study of durum wheat varieties based on productivity and adaptability] // Vestnik NGAU. 2019. № 3. P. 33–39. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-52-3-33-39

5. Korobeinikov N.I., Shoukis E.R., Rozova M.A., Boradulina V.A., Mousolitin G.M., Gourkova E.V., Kostrova L.I. Programma rabot selekcentra Altajskogo nauchno issledovatel'skogo instituta sel'skogo hozyajstva [The program of the works fulfilled in the Breeding Center of the Altai Research Institute of Agriculture] // Pod red. N.I. Korobeinikova. Barnaul: GNU Altaiskii NIISKh, Sibirskoe regional'noe otdelenie, 2011.

6. Mal'chikov P.N., Myasnikova M.G. Razvitiye selekcii yarovoj tverdoj pshenicy v Rossii (stranaх byvshego SSSR), rezul'taty i perspektivy [Development of spring durum wheat breeding in Russia (former USSR countries): results and prospects] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selekts. 2023. Vol. 27, № 6. P. 591–608. DOI: 10.18699/VJGB-23-71

7. Rozova M.A., Ziborov A.I. Korrelyacionnye svyazi urozhajnosti yarovoj tverdoj pshenicy s elementami ee struktury v zavisimosti ot urovnya produktivnosti genotipov i pogodnyh uslovij v Priobskoj lesostepi Altajskogo kraja [Correlations between spring durum wheat productivity and yield structure elements depending on genotype productivity levels and weather conditions in the Priobskaya forest-steppe of Altai Territory] // Vestnik AGAU. 2016. T. 136, № 2. P. 44–49.

8. Rozova M.A., Yanchenko V.I., Melnik V.M. Ekologicheskaya plastichnost' yarovoj tverdoj pshenicy na Altai [Ecological adaptability of spring durum wheat in Altai] // Barnaul: Azbuka; 2010. 151 s.

9. Samophalov A.P., Podgornyi S.V., Skripka O.V. Optimal'nye parametry elementov produktivnosti model'nogo sorta, myagkoj ozimoj pshenicy intensivnogo tipa dlya uslovij yuga Rostovskoj oblasti [Optimal parameters of productivity elements of a model variety of intensive common winter wheat for the south of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. Vol. 60, № 6. P. 64–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-64-68

10. Arriagada O., Gadaleta A., Marcotulli I., Maccaferri M., Campana M., Reveco S., Alfaro Ch., Matus I., Schwember A.R. A comprehensive meta-QTL analysis for yield-related traits of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) grown under different water regimes. *Frontiers in Plant Science*. Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13:984269. P. DOI: 10.3389/fpls.2022.984269. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.gov/36147234> [accessed 02.02.2024]

11. Garcia del Moral L.F., Rharrabti Y., Villegas D., Royo C. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenetic approach // *Agronomy Journal*. 2003. Vol. 95. P. 266–274. doi: 10.2134/agronj2003.2660.

12. Gholamin R., Khayatnezhad M. The Study of Path Analysis for Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) Yield Components. *Bioscience Biotechnology Research Communication*. 2020. Vol. 13(4). DOI: <http://dx.doi.org/10.21786/bbrc/13.4/76>. Available from: <https://bbrc.in/the-study-of-path-analysis-for-durum-wheat-triticum-durum-desf-yield-components> [accessed 17.01.2024]

13. Nofouzi F. Evaluation of seed yield of durum wheat (*Triticum durum*) under drought stress and determining correlation among some yield components using path coefficient analysis. *Cuadernos de Investigación UNED*. 2018 Vol. 10(1). P. 179–183. DOI: 10.22.458/urj.v10i1.2023. Available from: www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-42662018000100179#:~: [accessed 15.01.2024]

14. Peltonen-Sainio P., Kangas A., Salo Y., Jauhainen L. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: Evidence based on 30 years of multi-location trials // *Field crop research*. 2007. Vol. 100. P. 179–188. doi: 10.1016/j.fcr.2006.07.002

15. Quan Y., Zhao ZH., Cao Y., Ma Quan., Zhu N., Song L., Zhu M., Li Ch., Ding J., Guo W., Zhu X. Renewal of wheat cultivars enhances ozon resistance in yield but detrimentally impacts quality^a a survey of Chinese wheat // *Frontier in plant Science*. 2025. Vol. 15: 1526846. DOI: 3589/tpis.2024.1526846. <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1526846/full>. [accessed 04.02.2025]

16. Xynias I.N., Mylonas I., Korpetis E.G., Ninou E., Tsaballa A., Avdicosi.D., Mavromatis A.G. Durum wheat breeding in the Mediterranean region: Current status and future prospects // *Agronomy*. 2020. Vol. 10(3). P. 432. doi: 10.3390/agronomy10030432. Available from: sci-hub.ru/10.3390/agronomy10030432 [accessed 15.01.2024]

Поступила: 24.02.25; доработана после рецензирования: 16.07.25; принята к публикации: 16.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плаагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Розова М.А. – концептуализация исследований, подготовка данных, анализ данных; Егиазарян Е.Е. – закладка и выполнение полевых опытов; Ляпунова О.А. – подготовка рукописи к печати.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПЛАСТИЧНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

А.Х. Малкандуева¹, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства колосовых культур, malkandyewaax@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4306-3733;

Х.А. Малкандуев¹, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства колосовых культур, malkandyewaax@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4946-3818;

М.А. Базгиев², кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ishos06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7529-6171;

Р.И. Шамурзаев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и семеноводства колосовых культур, tama8333@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0169-6826.

¹Институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Ногмова, д.73, e-mail: ishkbncran@yandex.ru

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Ингушский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», 386203, Р.И., Сунжа, ул. Осканова, д.50, e-mail: ishos06@mail.ru

Цель исследований – оценка экологической пластичности и стабильности сортов озимой пшеницы в засушливых условиях Кабардино-Балкарской Республики. В статье представлены результаты исследований реакции сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» на условия степной зоны Кабардино-Балкарии. Опыты закладывали на базе Института сельского хозяйства КБНЦ РАН (Терский район, с. Опытное) в 2021–2024 годах. Изучена пластичность и стабильность 14 сортов озимой пшеницы селекции «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко» и одного сорта совместной селекции – Южанка по показателю «урожайность», а также «качество зерна». Расчет пластичности и стабильности сортов проводили по методике Eberhart S.A. и Russel W.A. Выяснено, что неблагоприятным оказался 2022 г., имеющий отрицательное значение индекса условий среды, а 2023 и 2024 гг. с положительными значениями индекса (I_j) были оптимальными для получения хороших урожаев. Установлено, что по сортам озимой пшеницы в условиях степной зоны получено в среднем от 43,1 до 50,5 ц/га. Максимальная урожайность получена у сорта Гомер в 2023 г. – 59,5 ц/га. Обнаружено, что пластичными и адаптивными сортами озимой пшеницы к засушливым условиям Кабардино-Балкарии являются Алексеич, Ахмат, Гомер, Сварог и Юка ($b_i > 1$), менее пластичными – Прасковья, Веха и Велена ($b_i < 1$). Даны оценки стабильности ($\sigma^2 d$) сортов по урожайности, где выделены Степь, Кавалерка и Алексеич (0,13; 0,26, 0,41). По хлебопекарным качествам выявлены сорта, накопившие в среднем за три года максимальное количество белка и клейковины: Безостая 100, Кавалерка и Крупинка. Среди изучаемых генотипов за три года лидерами по натурному весу были Сварог, Алексеич, Гром (792; 787; 785 г/л); по массе 1000 зерен – Крупинка, Кавалерка, Гомер (42,9; 39,9; 38,2 г).

Ключевые слова: пшеница, урожайность, пластичность, стабильность, качество.

Для цитирования: Малкандуева А.Х., Малкандуев Х.А., Базгиев М.А., Шамурзаев Р.И. Пластичность и стабильность сортов озимой пшеницы в условиях Юга России //Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 25–31. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-25-31.



ADAPTABILITY AND STABILITY OF WINTER WHEAT VARIETIES IN THE SOUTH OF RUSSIA

А.Х. Малкандуева¹, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of cereal crops, malkandyewaax@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4306-3733;

Х.А. Малкандуев¹, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for breeding and seed production of cereal crops, malkandyewaax@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4946-3818;

М.А. Базгиев², Candidate of Agricultural Sciences, director of the Federal State Budgetary Scientific Establishment Ingush Scientific Research Institute of Agriculture, ishos06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7529-6171;

Р.И. Шамурзаев¹, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for breeding and seed production of cereal crops, tama8333@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0169-6826

¹Institute of Agriculture – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution “

Federal Scientific Center “Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences”, 360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Nogmov Str., 73, e-mail: ishkbncran@yandex.ru

²Federal State Budgetary Scientific Institution “Ingush Research Institute of Agriculture”, 386203, Republic of Ingushetia, Sunzha, Oskanov Str., 50, e-mail: ishos06@mail.ru

The purpose of the current study was to estimate the ecological adaptability and stability of winter wheat varieties in the arid conditions of the Kabardino-Balkarian Republic. The paper has presented the study results of the response of winter wheat varieties developed at the FSBSO "National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko"; to the conditions of the steppe area of Kabardino-Balkarian Republic. The trials were conducted at the FSBSI "Federal Research Center "Kabardino-Balkarian Scientific Center of the RAS" (Tersky district, the v. of Optytnoye) from 2021 to 2024. There have been studied adaptability and stability of 14 winter wheat varieties developed at the National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko and one jointly developed variety, 'Yuzhanka' according to the traits 'productivity' and 'grain quality'. The adaptability and stability of the varieties were assessed using the Eberhart S.A. and Russell W.A. methodology. There has been found that 2022, with a negative index value of environmental conditions, was unfavorable, while 2023 and 2024, with positive index values (I_{ij}), were optimal for obtaining good yields. There has been established that winter wheat varieties yielded from 43.1 to 50.5 hwt per hectare in the steppe area. The variety 'Gomer' gave the largest yield in 2023 with 59.5 hwt per hectare. There has been found that the winter wheat varieties 'Alekseich', 'Akhmat', 'Gomer', 'Svarog', and 'Yuka' are adaptable to the arid conditions of Kabardino-Balkaria ($b_i > 1$), while the varieties 'Praskoviya', 'Vekha', and 'Velena' are less adaptable ($b_i < 1$). There has been given an estimation of stability ($\sigma^2 d$) of the varieties in yield, where the varieties 'Step', 'Kavalerka', and 'Alekseich' are the best (0.13; 0.26, 0.41). According to bread-making qualities, there have been identified the varieties 'Bezostaya 100', 'Kavalerka', and 'Krupinka' which accumulated the highest mean protein and gluten percentage in grain over three years. Among the genotypes studied over three years, the leaders in the trait 'nature weight' were the varieties 'Svarog', 'Alekseich', and 'Grom' (792; 787; 785 g/l); in the trait '1000-kernel weight' the best varieties were 'Krupinka', 'Kavalerka', and 'Gomer' (42.9; 39.9; 38.2 g).

Keywords: wheat, productivity, adaptability, stability, quality.

Введение. Озимая пшеница является одной из основных продовольственных культур в Российской Федерации. Получение стабильно высоких урожаев без использования адаптированных к почвенно-климатическим условиям сортов невозможно. Перед селекционерами стоит задача увеличить валовые сборы зерна за счет генетических ресурсов и адаптивности сорта (Малкандуев и др., 2020). Возделывание более урожайных сортов – это самый эффективный путь повышения рентабельности зернового производства. Выведение новых конкурентных генотипов, пластичных к условиям экосистемы регионов, невозможно без знаний закономерностей физиологии растений (Дрепа, Голубь и др., 2019). В своих исследованиях Курылева А.Г. (2018), Ковтун В.И., Ковтун Л.Н. (2021) отмечают, что потенциальная продуктивность сорта в большей степени зависит от создания оптимальных условий для прохождения важнейших этапов органогенеза. Основой решения этих задач является целенаправленная селекция на создание сортов, способных в различные по климатическим условиям годы формировать высокую продуктивность и качественное зерно (Мусинов, Лихенко, Сурначев, 2022). В Южном, Центральном и Приволжском федеральных округах РФ ежегодно пшеница занимает от 75 до 85 % всех посевных площадей. Каждый генотип отличается рядом биологических особенностей вследствие рекомбинации генетического материала в процессе его селекции. Эти особенности проявляются в реакции растений на агроклиматические условия и технологические регламенты, проявившиеся изменениями элементов структуры урожайности и других количественных показателей, а также показателей уровня устойчивости растений к ареалу обитания (Есаулко, Письменная и др., 2022). Галушко Н.А., Соколенко Н.И., Батагова Е.А. (2023) считают, что «реализация взаимодействия «растение – среда» отражается на урожайности культуры и качестве зерна, поэтому необходимо изучение параметров адаптив-

ности новых сортов мягкой озимой пшеницы в конкретных почвенно-климатических условиях возделывания». По мнению Манукян И.Р. (2025), «селекционные программы по созданию адаптивных и пластичных сортов представляют собой определенную систему этапов селекционной проработки исходного материала и сопровождаются комплексной оценкой по главным хозяйственными ценным признакам. Адаптивная селекция отличается своей направленностью на почвенно-климатические условия региона возделывания. Уже на первых этапах селекции требуется методология оценки селекционного материала на соответствие генотипа сорта экологическим условиям и устойчивостью к неблагоприятным (лимитирующими) факторам среды». Исследованиями Аниськова Н.И., Сафоновой И.В. (2020) и других ученых установлено, что «новые сорта несут в себе новые качества, которые необходимо в конкретных почвенно-климатических условиях изучать и сравнивать, проводить их оценку для принятия решения о возможности их районирования или выбраковки». Цель исследований – оценка экологической пластичности и стабильности сортов озимой пшеницы в заушливых условиях Кабардино-Балкарии.

Материалы и методы исследований. Опыты закладывали в степной зоне Кабардино-Балкарии на базе экспериментальных полей лаборатории селекции и семеноводства колосовых культур ИСХ КБНЦ РАН в 2021–2024 годах. Объектами исследований были 15 сортов озимой пшеницы селекции «НЦЗ им. П.П.Лукьяненко». Учетная площадь делянки 21 м², повторность 4-кратная, предшественник горох. Норма высева озимой пшеницы – 4,5–5,0 млн всх. семян на 1 га. Глубина заделки семян пшеницы – 4–6 см. Минеральные удобрения вносили под основную обработку почвы в дозе $N_{60}P_{60}K_{30}$, подкормку проводили дважды – в фазу кущения и колошения с дозой аммиачной селитры N_{30} . Технология возделывания общепринятая. Сроки посева оптимальные для зоны – 25–30 сентября, посев

рядовым способом селекционной сеялкой Клен-1,5, уборка в фазу полной спелости комбайном Террион-200. Пахотный слой почвы опытных участков представлен черноземом обыкновенным карбонатным. Содержание гумуса колеблется от 3,0 до 3,5 %, подвижного фосфора – 15,6–28,7 мг/кг и обменного калия – 200–300 мг/кг, азота 17–21 мг/кг. Реакция почвы нейтральная (рН – 6,8–7,2). Анализы, учтены и наблюдения в исследованиях проводили

в соответствии с общепринятыми методиками (Доспехов Б.А., 2014; Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 1989), пластичность и стабильность сортов оценивали по методике Eberhart S.A. и Russel W.A. (1966).

Метеорологические условия исследуемого периода были контрастными и различались по среднесуточной температуре воздуха и сумме осадков (рис. 1–2).

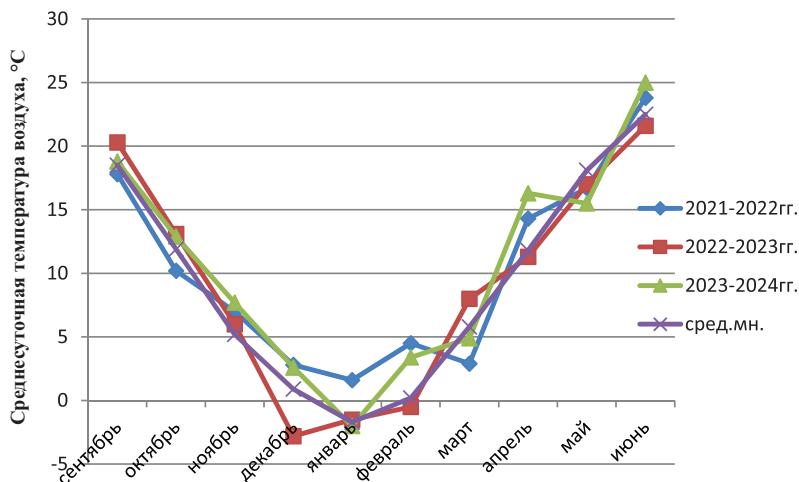


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха за вегетационные периоды, °C
(по данным метеостанции г. Терек, 2021–2024 гг.)

Fig. 1. Average daily air temperature during vegetation periods, °C
(according to the Terek weather station, 2021–2024)

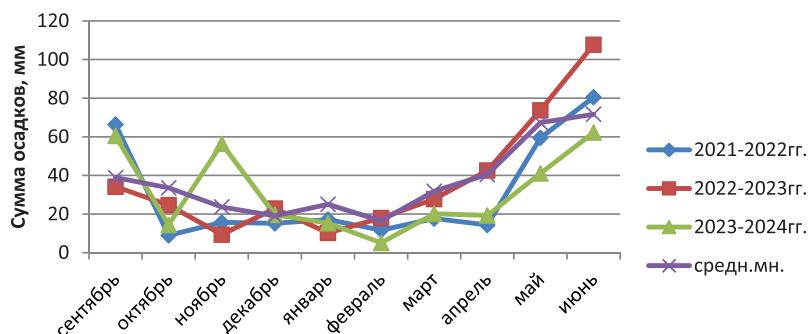


Рис. 2. Сумма осадков за вегетационные периоды, мм
(по данным метеостанции г. Терек, 2021–2024 гг.)

Fig. 2. Total precipitation during vegetation periods, mm
(according to the Terek weather station, 2021–2024)

В целом 2021–2022 сельскохозяйственный год характеризовался дефицитом осадков – с октября по май выпало на 20–73 % ниже нормы. Среднемесячная температура воздуха в осенний и весенний периоды была ниже среднемноголетних значений. Сложившиеся условия 2021–2022 гг. были менее благоприятными, что сказалось на формировании урожайности.

Оптимальный температурный режим осени 2022 г., несмотря на дефицит влаги в ноябре (9,4 мм – 39,7 % от нормы), обеспечил своевременный рост и развитие растений. Умеренная температура с достаточной влагообеспеченностью весной 2023 г. способствовали получению оптимальной урожайности.

Климатические условия 2023–2024 с.-х. года были благоприятными для озимой пшеницы. Температура воздуха в основном была на уровне или выше среднемноголетних значений. Выпавшие интенсивные осадки в сентябре и ноябре (155 и 236 % от нормы) вместе с положительной температурой воздуха (12,9–18,8 °C) создали условия для быстрого роста и развития растений. Оптимальная температура в апреле и июне выше средней многолетней на 3–4,5 °C позволила собрать хороший урожай. Климатическая вариативность условий за период исследований позволила оценить сорта по экологической пластичности и стабильности.

Результаты и их обсуждение. Оценивая полученные результаты по сортам за годы исследований, отмечено, что складывающие климатические условия различно повлияли на урожайность. Оптимально они сложились

в 2024 г. при положительном значении индекса условий среды, неблагоприятным оказался 2022 г., так как показатель индекса был отрицательным (табл. 1).

Таблица 1. Оценка урожайности и пластичности сортов озимой пшеницы (ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2024 гг.)

Table 1. Estimation of productivity and adaptability of winter wheat varieties (IA KBSC RAS, 2022–2024)

Сорт	Урожайность, ц/га			ΣY_i	Y_i	b_i
	2022 г.	2023 г.	2024 г.			
Алексеич	40,5	52,8	54,8	148,1	49,36	1,22
Ахмат	40,5	52,4	56,0	148,9	49,63	1,27
Безостая 100	43,5	53,4	51,7	148,6	49,53	0,81
Велена	43,1	45,3	53,2	141,6	47,20	0,60
Веха	40,6	44,4	49,5	134,5	44,83	0,61
Гомер	38,4	59,5	53,7	151,6	50,53	1,62
Гром	42,7	55,6	50,0	148,3	49,43	0,88
Кавалерка	39,6	50,9	51,1	141,6	47,20	1,03
Крупинка	37,3	46,5	45,6	129,4	43,13	0,79
Прасковья	40,6	45,6	47,3	133,5	44,50	0,54
Степь	38,3	47,1	48,4	133,8	44,60	0,86
Сварог	35,7	46,2	51,8	133,7	44,56	1,24
Таня	36,8	49,7	47,8	134,3	44,76	1,01
Юка	37,5	53,4	53,0	143,9	47,96	1,42
Южанка	43,7	52,2	55,2	151,1	50,36	0,92
ΣY_j	598,8	755	769,1	2122,9	707,58	–
Y_j	39,92	50,33	51,27	141,52	47,17	–
I_j (индекс условий среды)	-7,3	+3,2	+4,1	–	–	–
HCP_{05}	2,1	2,6	3,0	–	–	–

В таблице 1 показаны результаты изучения урожайности за три года. Для дальнейших расчетов экологической стабильности и пластичности нами использовалась методика С.А. Эберхарта и У.А. Рассела (1966), основанная на расчете следующих параметров: коэффициента линейной регрессии (b_i) и дисперсии ($\sigma^2 d$). Коэффициент линейной регрессии отображает реакцию генотипа на трансформацию параметров возделывания изучаемых сортов, второй показатель характеризует стабильность в различных условиях.

По каждому сорту был рассчитан коэффициент линейной регрессии. Варьирование коэффициента линейной регрессии составило 0,54–1,62. Сорта, имеющие коэффициент менее 1 ($b_i < 1$), отличаются слабой реакцией на изменения условий окружающей среды. Они способны формировать высокие урожаи в любых условиях, в том числе и на низком агрофоне. Коэффициент регрессии более 1 ($b_i > 1$) полу-

чен по сортам Алексеич, Ахмат, Гомер, Сварог и Юка, то есть они являются наиболее пластичными среди изучаемых образцов и относятся к интенсивному типу, положительно откликаются на амелиорацию условий возделывания.

Неблагоприятные погодные условия года, а также ограниченный уровень агрофона у этих сортов существенно сокращают зерновую продуктивность. Низкая экологическая пластичность отмечена у сортов Велена, Веха, Прасковья ($b_i < 1 - 0,60; 0,61; 0,54$).

Максимальная урожайность получена в 2023 г. у сортов Гомер (59,5 ц/га) и Гром (55,6 ц/га), в 2024 г. – у сортов Ахмат (56,0 ц/га) и Южанка (55,2 ц/га). В среднем за годы исследований урожайность выше 50,0 ц/га отмечена у сортов Южанка и Гомер.

Для вычисления экологической пластичности среди изучаемых генотипов мы вычислили теоретическую урожайность (табл. 2).

Таблица 2. Теоретическая урожайность сортов озимой пшеницы, ц/га (ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2024 гг.)

Table 2. Theoretical productivity of winter wheat varieties, hwt/ha (IA KBSC RAS, 2022–2024)

Сорт	Урожайность, ц/га			Y_i
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Алексеич	40,5	53,3	54,4	49,4
Ахмат	40,4	53,7	54,8	49,5
Безостая 100	43,6	52,1	52,9	49,5
Велена	42,8	49,1	49,7	47,2

Продолжение табл. 2

Сорт	Урожайность, ц/га			Y_i
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Веха	40,4	46,8	47,3	44,8
Гомер	38,7	55,7	57,2	50,5
Гром	43,0	52,2	53,0	49,4
Кавалерка	39,7	50,5	51,4	47,2
Крупинка	37,4	45,7	46,4	43,1
Прасковья	40,6	46,2	46,7	44,5
Степь	38,3	47,4	48,1	44,6
Сварог	35,5	48,5	49,6	44,5
Таня	36,9	48,0	48,9	44,8
Юка	37,4	52,5	53,8	48,0
Южанка	43,6	53,3	54,1	50,3
HCP ₀₅	1,9	2,2	2,7	2,2

Из данных таблицы 2 видно, что в 2024 г. с положительным индексом условий среды более высокая теоретическая урожайность получена у сортов Гомер, Ахмат, Алексеич и Южанка.

Данные теоретической урожайности сортов позволили вычислить экологическую стабильность генотипов озимой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения (табл. 3).

Таблица 3. Расчет экологической стабильности сортов озимой пшеницы (ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2024 гг.)

Table 3. Calculation of the environmental stability of winter wheat varieties (IA KBSC RAS, 2022–2024)

Сорт	Отклонение урожайности, ц/га			$\sum \sigma_{ij}^2$	$\sigma^2 d$
	2022 г.	2023 г.	2024 г.		
Алексеич	0,1	-0,5	0,4	0,41	0,41
Ахмат	0,1	-1,2	1,2	3,14	3,14
Безостая 100	-0,1	1,3	-1,2	3,14	3,14
Велена	0,3	-3,8	3,5	26,8	26,8
Веха	0,2	-2,4	2,2	10,6	10,6
Гомер	-0,3	3,8	-3,5	26,8	26,8
Гром	-0,3	3,4	-3,0	20,7	20,7
Кавалерка	-0,1	0,4	-0,5	0,26	0,26
Крупинка	-0,1	0,8	-0,8	1,73	1,73
Прасковья	0,1	-0,6	0,5	0,72	0,72
Степь	0,1	-0,3	0,2	0,13	0,13
Сварог	0,2	-2,3	2,1	9,74	9,74
Таня	-0,6	1,7	-1,1	4,46	4,46
Юка	-0,1	0,9	-0,8	1,46	1,46
Южанка	0,1	-1,1	1,0	2,43	2,43

Расчет экологической стабильности ($\sigma^2 d$) среди изучаемых генотипов озимой пшеницы показал следующие результаты. Ранжирование по среднеквадратичному отклонению у сортов позволило выделить наиболее стабильные из них: Степь, Кавалерка, Алексеич (0,13; 0,26, 0,41 соответственно). Интерпретация данных исследований позволила подчеркнуть ключевые параметры, характеризующие высокую урожайность зерна анализируемых сортов

пшеницы. Повышенную пластичность и стабильность к условиям возделывания степной зоны Кабардино-Балкарии проявили сорта Алексеич и Кавалерка. Выявлены оптимальные показатели у изучаемых сортов, позволяющие сформировать наибольшие результаты. Оценивая полученные результаты по сортам за годы исследований, отмечено, что складывающиеся климатические условия различно влияли на качество зерна (табл. 4).

Таблица 4. Оценка качества зерна сортов озимой пшеницы (ИСХ КБНЦ РАН, 2022–2024 гг.)

Table 4. Estimation of grain quality of winter wheat varieties (IA KBSC RAS, 2022–2024)

Сорт	Массовая доля белка, %			Содержание клейковины, %			Натурный вес, г/л			Масса 1000 зерен, г		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Алексеич	14,6	12,6	12,8	28,8	27,3	28,3	740	842	779	34,2	38,5	43,3
Ахмат	15,2	11,9	12,6	29,4	25,9	26,6	660	812	770	32,2	45,7	42,4
Безостая 100	16,2	12,8	13,7	31,5	27,2	30,7	680	816	756	32,7	35,7	45,5
Велена	15,5	13,5	13,4	30,7	28,7	30,2	670	811	754	38,4	34,4	41,4
Веха	16,1	12,1	11,9	31,6	25,0	25,7	660	854	756	37,6	40,5	42,0

Продолжение табл. 4

Сорт	Массовая доля белка, %			Содержание клейковины, %			Натурный вес, г/л			Масса 1000 зерен, г		
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Гомер	15,2	12,5	11,9	30,8	27,1	26,6	680	811	767	31,0	50,0	43,6
Гром	15,0	12,3	13,5	30,5	27,5	29,3	750	825	782	33,6	40,4	43,2
Кавалерка	16,3	12,2	14,5	32,0	26,1	30,3	715	839	785	34,8	47,2	47,6
Крупинка	16,4	13,0	13,6	31,9	26,6	29,4	750	830	730	38,0	44,0	56,8
Прасковья	16,9	12,6	13,2	32,4	26,9	29,1	705	823	754	31,2	39,5	44,8
Степь	16,3	11,9	12,8	31,6	25,4	28,3	690	802	721	30,9	33,7	42,9
Сварог	16,0	12,4	12,9	30,9	24,6	27,4	706	884	786	35,6	37,2	47,2
Таня	13,4	11,8	13,0	27,6	24,1	25,6	640	806	771	32,4	43,5	43,6
Юка	16,5	12,4	12,3	31,8	25,8	26,7	656	757	773	34,6	37,9	45,4
Южанка	16,3	12,2	12,1	31,3	26,4	27,1	635	784	707	33,5	41,0	43,1
HCP ₀₅	0,30	0,27	0,29	0,33	0,30	0,34	2,65	2,59	2,61	0,34	0,42	0,37

При оценке качества зерна пшеницы отмечено, что 2022 г. был благоприятным для накопления белка и клейковины. Пределы варьирования по массовой доле белка составили 11,8–16,9 %, по содержанию клейковины – 24,1–32,4 %. Среди сортов по содержанию клейковины и накоплению белка в зерне в среднем за три года выделились Безостая 100, Велена, Прасковья, Кавалерка и Крупинка, которые имели максимальные показатели. По массе 1000 зерен оптимальные результаты отмечены у сортов Крупинка, Кавалерка, Гомер, по натурному весу – Сварог, Алексеич, Кавалерка.

Выводы. Методика Эберхарта и Рассела позволила проследить за реакцией сортов озимой пшеницы в периоды, различающиеся по погодным условиям в степной зоне Кабардино-Балкарии. У сортов озимой пшеницы Алексеич, Ахмат, Гомер, Сварог и Юка коэффициент линейной регрессии был выше 1 ($b_i > 1$), поэтому

они являются более отзывчивыми и отнесены к интенсивному типу. При b_i , близком к единице, сорт обладает хорошей адаптивностью к условиям среды. Сорта Велена, Веха, Прасковья, чей коэффициент ($b_i < 1$) ниже 1, могут быть использованы в условиях с низким индексом агрофона или в неблагоприятных климатических условиях. Самым стабильным из изучаемых сортов оказался сорт Степь ($\sigma^2 d = 0,13$). В результате проведенных исследований получены данные об экологической пластичности и стабильности озимой пшеницы в засушливых условиях Кабардино-Балкарии, которые позволяют рекомендовать для внедрения сорта Степь, Велена, Веха, Прасковья, Алексеич, Ахмат, Гомер, Сварог и Юка.

Финансирование. Работа финансировалась за счет бюджетных средств ИСХ КБНЦ РАН. Регистрационный номер темы научного исследования № 124020700014-05.

Библиографический список

1. Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Сравнительная оценка показателей пластичности, стабильности и гомеостатичности сортов озимой ржи селекции ВИР по признаку «масса 1000 зерен» // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 181(3). С. 56–63. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-3-56-63
2. Галушки Н.А., Соколенко Н.И., Батагова Е.А. Адаптивные особенности новых сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» // Земледелие. 2023. № 6. С. 41–44. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-6-41-44
3. Дрепа Е.Б., Голубь А.С., Трубачева Л.В., Сухарева А.А. Агробиологическая оценка сортов озимой пшеницы, выращиваемых в условиях крайне засушливой зоны Ставропольского края // Известия Нижневолжского агрониверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 3 (55). С. 134–141. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-17
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Есаулко А.Н., Письменная Е.В., Голосной Е.В., Ожередова А.Ю., Кузьминова Ю.Н. Влияние погодно-климатических условий на генетико-физиологическую систему растений озимой пшеницы в засушливых условиях Центрального Предкавказья // Юг России: экология, развитие. 2022. С. 136–150. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-136-150
6. Ковтун В.И., Ковтун Л.Н. Новый сорт пшеницы универсального типа Антипова для возделывания в основных озимопшеничных регионах России // Аграрный научный журнал. 2021. № 7. С. 21–26. DOI: 10.28983/asj-y2021i7pp21-26
7. Курылева А.Г. Адаптивность сортов озимой пшеницы в условиях Удмуртской республики // Пермский аграрный вестник. 2018. № 4 (24). С. 65–71.
8. Малкандуева А.Х., Малкандуев Х.А., Мохова Л.М., Шамурзаев Р.И., Пузырная О.Ю., Керимов В.Р. Результаты селекции по озимой пшенице // Известия КБНЦ РАН. 2020. № 2 (94). С. 66–71. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-2-94-66-71
9. Манукян И.Р. Сравнительная оценка адаптивности сортов озимой пшеницы к условиям предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 2. С. 164–175. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-02-164-175
10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Сельхозиздат, 1989. 194 с.

11. Мусинов К.К., Лихенко И.Е., Сурначев А.С. Оценка исходного материала озимой мягкой пшеницы по показателям адаптивности в условиях лесостепи Новосибирской области // Вестник НГАУ. 2022. № 1(62). С. 56–66. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-56-66

12. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability Parameters for Comparing Varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6, № 1. P. 36–40.

References

1. Anis'kov N.I., Safonova I.V. Sravnitel'naya otsenka pokazatelei plastichnosti, stabil'nosti i gomeostatichnosti sortov ozimoi rzhi selektsii VIR po priznaku «massa 1000 zeren» // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii [Comparative estimation of the adaptability, stability, and homeostatic properties of winter rye varieties developed at VIR according to the trait “1000-grain weight”] 2020. № 181(3). С. 56–63. DOI:10.30901/2227-8834-2020-3-56-63
2. Galushko N.A., Sokolenko N.I., Batagova E.A. Adaptivnye osobennosti novykh sortov myagkoi ozimoi pshenitsy selektsii FGBNU «Severo-Kavkazskii FNATs» [Adaptive features of the new winter common wheat varieties developed by the FSBSI “North Caucasus FRAC”] // Zemledelie. 2023. № 6. С. 41–44. DOI:10.24412/0044-3913-2023-6-41-44
3. Drep'a E.B., Golub' A.S., Trubacheva L.V., Sukhareva A.A. Agrobiologicheskaya otsenka sortov ozimoi pshenitsy, vyrashchivayemykh v usloviyakh krasnoy zony Stavropol'skogo kraya [Agrobiological estimation of winter wheat varieties grown in the extremely arid area of the Stavropol Territory] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyshee professional'noe obrazovanie. 2019. № 3 (55). С. 134–141. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-03-17
4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
5. Esaulko A.N., Pis'mennaya E.V., Golosnoi E.V., Ozheredova A.Yu., Kuz'minova Yu.N. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh uslovii na genetiko-fiziologicheskuyu sistemuyu rastenii ozimoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh Tsentral'nogo Predkavkaz'ya [The effect of weather and climatic conditions on the genetic and physiological system of winter wheat plants in the arid conditions of the Central Ciscaucasia] // Yug Rossii: ekologiya, razvitiye. 2022. S. 136–150. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-136-150
6. Kovtun V.I., Kovtun L.N. Novyi sort pshenitsy universal'nogo tipa Antipovka dlya vozdelyvaniya v osnovnykh ozimopshenichnykh regionakh Rossii [A new universal wheat variety ‘Antipovka’ for cultivation in the main winter wheat regions of Russia] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2021. № 7. S. 21–26. DOI: 10.28983/asj-y2021i7pp21-2
7. Kuryleva A.G. Adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Udmurtskoi respubliki [Adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the Udmurt Republic] // Permskii agrarnyi vestnik. 2018. № 4(24). S. 65–71.
8. Malkandueva A.Kh., Malkanduev Kh.A., Mokhova L.M., Shamurzaev R.I., Puzyrnaya O.Yu., Kerimov V.R. Rezul'taty selektsii po ozimoi pshenitse [Winter wheat breeding results] // Izvestiya KBNTs RAN. 2020. № 2 (94). S. 66–71. DOI: 10.35330/1991-6639-2020-2-94-66-71
9. Manukyan I.R. Sravnitel'naya otsenka adaptivnosti sortov ozimoi pshenitsy k usloviyam predgornoi zony Tsentral'nogo Kavkaza [Comparative estimation of the adaptability of winter wheat varieties to the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus] // Agrarnyi vestnik Urala. 2025. Т. 25, № 2. S.164–175. DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-02-164-175
10. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology for the State Variety Testing of Agricultural Crops]. M.: Sel'khozizdat, 1989. 194 s.
11. Musinov K.K., Likhenco I.E., Surnachev A.S. Otsenka iskhodnogo materiala ozimoi myagkoi pshenitsy po pokazatelyam adaptivnosti v usloviyakh lesostepi Novosibirskoi oblasti [Estimation of initial material of winter common wheat for adaptability to forest-steppe conditions in the Novosibirsk Region] // Vestnik NGAU. 2022. № 1(62). S. 56–66. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-62-1-56-66
12. Eberhart S.A., Russel W.A. Stability Parameters for Comparing Varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6, № 1. P. 36–40.

Поступила: 22.04.25; доработана после рецензирования: 24.06.25; принята к публикации: 03.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за пластификатора.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Малкандуев Х.А. – научное руководство, постановка цели и задач; Шамурзаев Р.И. – подготовка и выполнение полевых работ, сбор данных; Малкандуева А.Х. – интерпретация данных, написание текста; Базгиев М.А. – анализ литературных источников, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ПРЕДШЕСТВЕННИКУ ГОРОХ

Н.С. Кравченко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической и технологической оценки, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

Н.Г. Игнатьева, техник-исследователь лаборатории биохимической и технологической оценки, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;

О.А. Костыленко, агроном лаборатории биохимической и технологической оценки, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;

А.С. Иванисова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В работе представлены результаты изучения 10 сортов и четырех линий озимой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по комплексу признаков качества зерна. Цель исследований заключалась в оценке влияния предшественника горох на формирование качества зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы. Исследования были проведены в 2022–2024 гг., полевые опыты проводили в лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы в соответствии методическими указаниями проведения полевого опыта. Аналитические эксперименты проводили согласно ГОСТ в лаборатории биохимической и технологической оценки. Было установлено, что за изучаемый период сорта Диона (810 г/л), Каротинка (811 г/л), Графит (813 г/л) и линии 1147/19 и 1174/19 сформировали высоконатурное зерно. Все сорта и линии по предшественнику горох характеризовались низкой протеолитической активностью (число падения выше 400 с), что свидетельствует о высокой устойчивости к прорастанию. Выделены сорта Кристелла (14,43 %) и Диона (14,27 %) с содержанием белка более 14,0 %. Установлено, что сорт Кристелла сформировал содержание клейковины на уровне требований к первому классу качества зерна. Остальные сорта и линии соответствовали второму классу. Выделились сорта Диона (86 %), Динас (85 %), Придонье (87 %), Каротинка (85 %), Графит (87 %) и линии 971/19 (86 %), 1147/19 (88 %) и 1174/19 (89 %), которые характеризовались высокими значениями общей стекловидности зерна. Выявлено, что все изучаемые генотипы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» показали высокие значения цвета зерна «б».

Ключевые слова: сорт, содержание белка, количество клейковины, цвет зерна, стекловидность, натура.

Для цитирования: Кравченко Н.С., Игнатьева Н.Г., Костыленко О.А., Иванисова А.С. Формирование качества зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы по предшественнику горох // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 6, С. 32–37. DOI: [10.31367/2079-8725-2025-101-6-32-37](https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-101-6-32-37).



FORMATION OF GRAIN QUALITY IN WINTER DURUM WHEAT VARIETIES AND LINES SOWN AFTER PEAS

N.S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical and technological assessment, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

N.G. Ignat'eva, technician-researcher of the laboratory for biochemical and technological assessment, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;

O.A. Kostylenko, agronomist of the laboratory for biochemical and technological assessment, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;

A.S. Ivanisova, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production; ORCID ID: 0000-0003-1466-250x

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

The current paper has presented the study results of grain quality traits of 10 varieties and 4 lines of winter durum wheat developed at the FSBSI "ARC "Donskoy". The purpose of the study was to estimate the effect of peas as a forecrop on the development of grain quality of winter durum wheat varieties and lines. The study was conducted between 2022 and 2024. Field trials were conducted in the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production in accordance with the methodology of field trials. Analytical experiments were conducted in accordance with GOST standards in the laboratory for biochemical and technological assessment. There has been found that during the study the varieties 'Diona' (810 g/l), 'Karotinka' (811 g/l), and 'Grafit' (813 g/l), as well as the lines '1147/19' and '1174/19', produced high-quality grain. All varieties and lines, sown after peas, were characterized by low proteolytic activity (with a falling number of more than 400 s), indicating high germination resistance. There have been identified the varieties 'Kristella' (14.43%) and 'Diona' (14.27 %) with more than 14.0 % protein. There has been established

that the variety 'Kristella' produced gluten at the level required for the 1-st grain quality class. The remaining varieties and lines have met the requirements of the 2-nd grain quality class. There have been identified the varieties 'Diona' (86 %), 'Dinas' (85 %), 'Pridonie' (87 %), 'Karotinka' (85 %), 'Grafit' (87 %), and the lines '971/19' (86 %), '1147/19' (88 %), and '1174/19' (89 %), which were characterized by high values of total grain hardness. There has been determined that all studied genotypes developed in the FSBSI "ARC "Donskoy" demonstrated high values of grain color "b".

Keywords: variety, protein percentage, gluten content, grain color, hardness, grain unit.

Введение. Твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) ежегодно выращивается во всем мире на площади около 17,0 млн га. Производство зерна колеблется по годам от 32 до 42 млн тонн. Продукты, изготовленные из зерна твердой пшеницы, используются почти во всех странах, но основными регионами потребления являются страны Средиземноморского бассейна (Мальчиков и Мясникова, 2020).

В последнее время около 70 % изучаемой культуры возделывается на юге Российской Федерации (Ставропольский край – 40 тыс. га, Ростовская область – 30 тыс. га, Краснодарский край – 5 тыс. га и др.). По данным из разных источников, за последние пять лет площадь под озимой твердой пшеницей выросла более чем в десять раз и составляет около 100–130 тыс. га (Штокарев и др., 2024).

В связи с наблюдаемыми изменениями климата и усилением аридизации проблема стабилизации качества урожая озимой твердой пшеницы в Ростовской области имеет особое значение.

Известно, что качество зерна определяется как генотипом, так и условиями внешней среды. В основу требований к сортам пшеницы должна быть положена частота формирования ими зерна высокого качества. Отобрать лучшие генотипы по качеству в определенных условиях среди можно лишь с помощью оценки их фенотипов в тех же экологических условиях. Создание экологически устойчивых по качеству зерна сортов пшеницы – одна из важнейших задач селекционной науки (Кулеватова и др., 2019).

В формировании урожая высокого качества зерновых культур ведущая роль принадлежит азотному питанию. При этом следует обратить особое внимание на предшественник гороха, который позволяет накапливать значительные объемы биологического азота, используемого последующей культурой, в пожнивных остатках (Письменная и др., 2020).

Учитывая важность проблемы, большое внимание должно уделяться разработке различных агротехнических приемов, способствующих получению зерна с высокой технологической ценностью. Один из таких аспектов – подбор предшественника в севообороте: важно знать, как проявляется его влияние на количественную выраженность показателей качества зерна.

Таким образом, цель исследований заключалась в оценке влияния предшественника гороха на формирование качества зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены в 2022–2024 гг. в научном севообороте лаборатории селекции

и семеноводства озимой твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Материалом для исследований послужили 10 сортов и четыре линии селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Полевые опыты размещали по предшественнику гороха. Посев проводили ежегодно с 1 по 10 октября сеялкой Wintersteiger Plotseed обычным рядовым способом на глубину заделки семян 4–6 см, уборку осуществляли комбайном Wintersteiger Classic в фазу полной спелости. Учетная площадь делянки 10 м² в трехкратной повторности, размещение делянок систематическое.

Погодные условия в период формирования и созревания урожая в 2022 г. характеризовались неравномерным выпадением осадков. Весной количество осадков отмечено на уровне 164,4 мм, что составляет 125,5 % от среднегодового показателя. Летом в период созревания отмечен повышенный температурный режим, а также воздушная и почвенная засуха, выпало 59,7 % от нормы (104,0 мм), это положительно сказалось на формировании стекловидности и цвета зерна.

Весной 2023 г. наблюдалась повышенная температура воздуха в марте (5,4 °C) и апреле (0,8 °C). Июнь 2023 г. характеризовался оптимальным температурным режимом, количество осадков было на уровне среднемноголетних значений.

В мае 2024 г. наблюдалось аномальное похолодание, летний период сопровождался сильной засухой, что привело к дефициту влаги. Сорта озимой твердой пшеницы обладают высокой устойчивостью к воздушной засухе в период налива и созревания зерна, что положительно сказывается на формировании числа падения, стекловидности и цвета.

Учеты, наблюдения и оценки в период вегетации проводили по Методике государственного сортоиспытания (2019). В качестве стандарта использовали сорт Кристелла.

Исследования по определению качества зерна проводили в лаборатории биохимической и технологической оценки. Общую стекловидность зерна определяли в соответствии с ГОСТ Р 70629-2023. Массовую долю белка в зерне устанавливали согласно ГОСТ 10846-91, содержание клейковины в зерне – по ГОСТ Р 54478-2011. Значения числа падения определяли по требованиям ГОСТ ISO 3093-2016. Натуру зерна измеряли по ГОСТ 10840-2017. Индекс цвета зерна «b» выявляли с помощью колориметра Konica Minolta CR-410.

Математическую и статистическую обработку экспериментальных данных выполняли с использованием программы Excel, дисперсионный анализ проводили по Б.А. Доспехову (2014).

Результаты и их обсуждение. Качество зерна – совокупность технолого-биохимических и пищевых свойств, которая определяет хозяйственную ценность сорта (Кулеватова и др., 2021). Одним из основных признаков, характеризующих крупность зерна и его выполнимость, является натурный вес. Данный показатель используют в товарной классификации зерна в США, Канаде, Аргентине и европейских странах (Малкандуев и др., 2022). В России по этому показателю к 1-му классу

озимой твердой пшеницы предъявляются требования не ниже 770 г/л. Однако современные производители макаронных изделий в нашей стране завышают требования к исходному сырью и закупают крупное высоконатурное зерно (Гончаров и Курашов, 2018).

В среднем за годы исследований изучаемые сорта и линии озимой твердой пшеницы по предшественнику горох сформировали натуру от 779 г/л (971/19) до 813 г/л (Графит) (табл. 1).

Таблица 1. Натура и число падения сортов и линий озимой твердой пшеницы, выращенных по предшественнику горох, 2022–2024 гг.

Table 1. Grain unit and a falling number of winter durum wheat varieties and lines grown after peas, 2022–2024

Сорт / линия	Натура, г/л	ЧП, с
Кристелла, ст.	793	435
Диона	810	456
Услада	790	406
Лакомка	790	454
Динас	803	427
Эллада	799	430
Хризолит	800	439
Придонье	803	432
Каротинка	811	423
Графит	813	463
1037/17	789	442
971/19	779	436
1147/19	806	428
1174/19	804	433
HCP ₀₅	10	15

Сорта Диона (810 г/л), Каротинка (811 г/л), Графит (813 г/л) и линии 1147/19 и 1174/19 характеризовались высокими значениями натуры более – 800 г/л – и превысили стандарт по этому признаку (HCP₀₅ = 10 г/л). Данный факт позволяет рекомендовать выделившиеся сорта и линии для использования в селекционном процессе.

Одним из основных признаков, к которому предъявляются требования в соответствии с ГОСТ 9353-2016, является число падения. Этот показатель свидетельствует о степени активности альфа-амилазы в зерне. Зерно твердой озимой пшеницы наиболее подвержено предуборочному прорастанию, поэтому важно его контролировать на всех этапах селекционного процесса.

В процессе прорастания разрушается крахмал, деградируют белки и другие вещества, ухудшаются физические и технологические свойства зерна. Кроме того, в проросшем зерне повышается концентрация свободного аспарагина, что неблагоприятно для здоровья человека (Крупнов и Крупнова, 2015).

В Российской Федерации, согласно ГОСТ 9353-2016, у первого и второго класса ЧП должно быть не ниже 200 с, при этом допускается до 5 % проросшего зерна «в зерновой примеси», в то время как в Австралии программами предусмотрено создание сортов со сред-

ним значением ЧП не ниже 350 с, а в Канаде – 400 с и более.

Исследования активности а-амилазы показали варьирование значений числа падения от 406 с (Услада) до 463 с (Графит), что свидетельствует о низкой протеолитической активности сортов и линий, выращенных по предшественнику горох.

Содержание белка и содержание клейковины являются важными признаками, от выраженной которых существенно зависят технологические свойства генотипов.

Важно было выяснить повторяемость оценок ежегодно и способность метеорологических условий вызывать снижение качества зерна. Несмотря на то что климатические условия за годы изучения были разными, среднесортовое количество белка и клейковины в зерне отличалось несущественно (табл. 2).

Установлено, что в среднем за исследуемый период сорта и линии твердой озимой пшеницы сформировали содержание белка в зерне от 13,05 % (1447/19) до 14,43 % (Кристелла).

Так как сорт-стандарт сформировал максимальное содержание белка, то достоверного превышения по данному признаку не выявлено. В соответствии с требованиями ГОСТ 9353-2016 массовая доля белка в зерне твердой пшеницы 1-го класса должна быть не менее 13,5 %, то есть сорта Услада (13,71 %),

Лакомка (13,93 %), Эллада (13,96 %), Хризолит (13,61 %), Каротинка (13,97 %) и линию 1037/17 (13,62 %) можно отнести к высшему классу качества.

Таблица 2. Содержание белка и клейковины в зерне сортов и линий озимой твердой пшеницы, выращенных по предшественнику горох, 2022–2024 гг.
Table 2. Protein and gluten content in grain of winter durum wheat varieties and lines grown after peas, 2022–2024

Сорт / линия	Содержание белка, %				Количество клейковины, %			
	2022	2023	2024	среднее	2022	2023	2024	среднее
Кристелла, ст.	14,28	14,68	14,33	14,43	28,7	28,2	27,6	28,2
Диона	13,92	14,90	14,01	14,27	28,6	25,8	26,6	27,0
Услада	13,49	13,97	13,68	13,71	27,1	24,7	25,1	25,6
Лакомка	13,47	14,28	14,03	13,93	27,4	27,2	26,7	27,1
Динас	13,62	12,30	13,38	13,10	30,4	26,1	24,2	26,9
Эллада	14,05	14,27	13,55	13,96	28,5	26,2	25,4	26,7
Хризолит	13,48	13,72	13,64	13,61	26,1	26,9	25,7	26,2
Придонье	13,57	13,17	13,56	13,43	27,8	24,5	25,2	25,8
Каротинка	13,84	14,24	13,82	13,97	26,1	27,0	26,4	26,5
Графит	12,02	13,57	13,55	13,07	24,3	26,3	24,9	25,1
1037/17	13,44	13,53	13,89	13,62	25,4	23,9	26,5	25,3
971/19	13,05	13,51	13,90	13,49	23,5	24,3	26,7	24,8
1147/19	12,40	13,51	13,24	13,05	24,8	26,7	24,1	25,2
1174/19	13,05	13,59	13,32	13,32	26,7	24,7	24,2	25,2
Среднее	13,41	13,80	13,71	13,64	26,8	25,9	25,7	26,1
HCP ₀₅	–	–	–	0,44	–	–	–	0,98

Выделены сорта Кристелла (14,43 %) и Диона (14,27 %), у которых зафиксировано максимальное содержание белка.

Количество клейковины – это признак, от которого зависит качество готовой продукции, полученной из зерна твердой пшеницы.

В результате проведенных исследований по предшественнику горох сорта и линии твердой пшеницы сформировали количество клейковины от 24,8 % (971/19) до 28,2 % (Кристелла). У стандарта Кристелла содержание клейковины на уровне требований к 1-му классу качества (не менее 28,0 %). Остальные сорта и линии соответствовали 2-му классу качества (не менее 25,0 %). Линия 971/19 характеризовалась массовой долей белка, соответствующей 3-му классу качества (не менее 22,0 %).

Важным признаком качества, который включен ГОСТ 9353-2016 и по которому устанавливается класс качества, является стекловидность зерна. Чем выше значения этого признака, тем больше выход крупок лучшего качества с повышенным содержанием питательных веществ. Мучнистое зерно снижает цветовые характеристики зерна, крупки, а также ухудшаются варочные свойства пасты.

В соответствии с ГОСТ 9353-2016 к 1-му и 2-му классу качества относят зерно твердой пшеницы со стекловидностью не ниже 85 %.

Оценка величины признака показала, что значения стекловидности сортов и линий в среднем за годы исследований изменились от 82 % (Кристелла, Эллада и 1037/17) до 89 % (1174/19) (табл. 3).

Таблица 3. Общая стекловидность сортов и линий озимой твердой пшеницы, выращенных по предшественнику горох, 2022–2024 гг.
Table 3. Total hardness of winter durum wheat varieties and lines grown after peas, 2022–2024

Сорт / линия	Стекловидность, %
Кристелла, ст.	82
Диона	86
Услада	83
Лакомка	83
Динас	85
Эллада	82
Хризолит	83
Придонье	87
Каротинка	85
Графит	87
1037/17	82
971/19	86
1147/19	88
1174/19	89
HCP ₀₅	1,2

Достоверно превысили стандарт по этому признаку (82 %) ($HCP_{05} = 1,2$ %) сорта Диона (86 %), Динас (85 %), Придонье (87 %), Каротинка (85 %), Графит (87 %) и линии 971/19 (86 %), 1147/19 (88 %) и 1174/19 (89 %).

Выделенные генотипы соответствовали 1-му классу качества по признаку «стекловидность» и рекомендуются для использования в селекционной работе.

Существует мнение, что одним из ключевых факторов, мешающих российской твердой пшенице «завоевать» рынок Италии, является недостаточная цветность по индексу «b», который измеряется на приборе «Konica Minolta». Данный показатель не включен в отечествен-

ный ГОСТ, однако является определяющим у покупателей российской твердой пшеницы (Гончаров и Курашов, 2018).

В странах Европейского союза к индексу цвета зерна «b» твердой пшеницы предъявляются определенные требования, согласно которым этот индекс для зерна должен быть >22 единиц прибора (Васенев и др., 2019).

Наиболее благоприятное влияние на формирование цвета зерна оказали агрометеорологические условия 2022 и 2024 гг., когда зафиксированы максимальные среднесортовые значения «b» – 28,21 и 29,43 единицы прибора соответственно (табл. 4).

Таблица 4. Цвет зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы, выращенных по предшественнику горох, 2022–2024 гг.
Table 4. Grain color of winter durum wheat varieties and lines grown after peas, 2022–2024

Сорт / линия	Цвет зерна «b», единиц прибора			
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Кристелла, st.	27,85	24,31	28,70	26,51
Диона	28,42	24,52	28,99	26,76
Услада	28,12	23,53	28,33	25,93
Лакомка	29,15	25,20	29,15	27,18
Динас	27,20	26,17	29,36	27,77
Эллада	26,98	26,25	28,19	27,22
Хризолит	28,28	25,12	30,45	27,79
Придонье	27,86	26,08	30,17	28,13
Каротинка	29,36	25,97	29,92	27,95
Графит	29,29	26,00	30,24	28,12
1037/17	26,80	26,94	29,52	28,23
971/19	28,09	26,19	30,09	28,14
1147/19	28,55	26,57	29,74	28,16
1174/19	28,96	26,60	29,21	27,91
Среднее	28,21	25,68	29,43	27,77
HCP_{05}	–	–	–	0,72

В результате определения индекса цвета зерна «b» было установлено, что сорта и линии твердой озимой пшеницы, выращенные по предшественнику горох, сформировали значения этого показателя от 25,93 единицы прибора (Услада) до 28,23 единицы прибора (1037/17), то есть все изучаемые генотипы характеризовались цветом зерна на уровне международных требований (>22 ед. п.).

Достоверно превысили стандарт Кристелла (26,51 ед. п.) ($HCP_{05} = 0,72$ ед. п.) сорта Динас (27,77 ед. п.), Хризолит (27,79 ед. п.), Придонье (28,13 ед. п.), Каротинка (27,95 ед. п.), Графит (28,12 ед. п.) и линии 1037/17 (28,23 ед. п.), 971/19 (28,14 ед. п.), 1147/19 (28,16 ед. п.) и 1174/19 (27,91 ед. п.).

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что сорта и линии твердой озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», выращенные по предшественнику горох в погодно-климатических условиях южной зоны Ростовской области, мо-

гут формировать зерно с высокими технологическими характеристиками.

Выводы. В результате проведенных опытов выделены сорта и линии озимой твердой пшеницы с комплексом хозяйственно ценных признаков. Лучшее сочетание изученных показателей отмечено у сорта Каротинка, у которого выявлены высокие абсолютные значения признаков «натура» (811 г/л), «число падения» (423 с), «содержание белка» (13,97 %), «количество клейковины» (26,5 %), «стекловидность» (85 %) и «цвет зерна» «b» (27,95 ед. п.).

По пяти из изучаемых признаков выделены сорта Диона, Графит и линии 1147/19 и 1174/19, которые целесообразно использовать в селекции твердой озимой пшеницы в качестве базовых генотипов для повышения качества зерна создаваемых сортов.

Финансирование. Исследования выполнены согласно Государственному заданию. Тема НИР № 0505-2025-0008.

Библиографический список

1. Васенев И.И., Бесалиев И.Н., Мальчиков П.Н., Шутарева Г.И., Джанчаров Т.М., Морев Д.В., Ярославцев А.М., Курашов М.Ю. Анализ лимитирующих агроэкологических факторов урожайности

и качества твердой пшеницы в засушливых условиях // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, №. 12. С. 30–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11206

2. Гончаров С.В., Курашов М.Ю. Перспективы развития российского рынка твердой пшеницы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 2(57). С. 66–75. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66

3. Крупнов В.А., Крупнова О.В. Подходы по улучшению качества зерна пшеницы: селекция на число падения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19. № 5. С. 604–613.

4. Кулеватова Т.Б., Злобина Л.Н., Бекетова Г.А., Старичкова Н.И. Влияние предшественника на показатели качества зерна яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, № 1. С. 64–69. DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-1-64-69

5. Кулеватова Т.Б., Лящева С.В., Злобина Л.Н., Старичкова Н.И. К качеству зерна озимой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, № 1. С. 78–86. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-78-86

6. Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Малкандуева А.Х. Понятие и требования к качеству зерна пшеницы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 203–216. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-203-216

7. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Содержание желтых пигментов в зерне твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.): биосинтез, генетический контроль, маркерная селекция // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(5). С. 501–511. DOI 10.18699/VJ20.642

8. Письменная Е.В., Азарова М.Ю., Курасова Л.Г. Влияние сортов и предшественников озимой пшеницы на плодородие почвы, урожайность и качество зерна в Ставропольском крае // Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 32–37. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp32-37

9. Штокарев Д.А., Яновский А.С., Мудрова А.А., Беспалова Л.А. Концепция возделывания пшеницы твердой озимой и результаты ее реализации // Твердая пшеница: генетика, биотехнология, селекция и семеноводство, технологии выращивания и переработки. Сборник материалов 2-й конференции. М., 2024. С. 39–40.

References

1. Vasenev I.I., Besaliev I.N., Mal'chikov P.N., Shutareva G.I., Dzhancharov T.M., Morev D.V., Yaroslavtsev A.M., Kurashov M.Yu. Analiz iimitiruyushchikh agroekologicheskikh faktorov urozhainosti i kachestva tverdoi pshenitsy v zasushlivykh usloviyakh [Analysis of limiting agroecological factors affecting durum wheat productivity and quality in arid conditions] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. Т. 33, №. 12. С. 30–37. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-11206
2. Goncharov S.V., Kurashov M.Yu. Perspektivy razvitiya rossiiskogo rynka tverdoi pshenitsy [Prospects for the Russian durum wheat market development] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 2(57). С. 66–75. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66
3. Krupnov V.A., Krupnova O.V. Podkhody po uluchsheniyu kachestva zerna pshenitsy: selektsiya na chislo padeniya [Approaches to improving wheat grain quality: breeding for a falling number] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2015. Т. 19, № 5. С. 604–613.
4. Kulevatova T.B., Zlobina L.N., Bektevova G.A., Starichkova N.I. Vliyanie predshestvennika na pokazateli kachestva zerna yarovoii myagkoi pshenitsy [Effect of forecrops on grain quality indicators of spring common wheat] // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya. 2019. Т. 19, № 1. С. 64–69. DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-1-64-69
5. Kulevatova T.B., Lyashcheva S.V., Zlobina L.N., Starichkova N.I. K kachestvu zerna ozimoi pshenitsy [To the winter wheat grain quality] // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Khimiya. Biologiya. Ekologiya. 2021. Т. 21, № 1. С. 78–86. DOI: 10.18500/1816-9775-2021-21-1-78-86
6. Malkanduev Kh.A., Shamurzaev R.I., Malkandueva A.Kh. Ponyatiye i trebovaniya k kachestvu zerna pshenitsy [Concept and requirements for wheat grain quality] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2022. № 6(110). С. 203–216. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-203-216
7. Mal'chikov P.N., Myasnikova M.G. Soderzhanie zheltykh pigmentov v zerne tverdoi pshenitsy (*Triticum durum* Desf.): biosintez, geneticheskii kontrol', markernaya selektsiya [Yellow pigment in durum wheat grain (*Triticum durum* desf.): biosynthesis, genetic control, and marker-assisted breeding] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2020. № 24(5). С. 501–511. DOI 10.18699/VJ20.642
8. Pis'mennaya E.V., Azarova M.Yu., Kurasova L.G. Vliyanie sortov i predshestvennikov ozimoi pshenitsy na plodorodie pochvy, urozhainost' i kachestvo zerna v Stavropol'skom krae [Effect of winter wheat varieties and forecrops on soil fertility, grain productivity and quality in the Stavropol Territory] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2020. № 8. С. 32–37. DOI: 10.28983/asj.y2020i8pp32-37
9. Shtokarev D.A., Yanovskii A.S., Mudrova A.A., Bespalova L.A. Kontseptsiya vozdelyvaniya pshenitsy tverdoi ozimoi i rezul'taty ee realizatsii [Winter durum wheat cultivation concept and its implementation results] // Tverdaya pshenitsa: genetika, biotekhnologiya, selektsiya i semenovodstvo, tekhnologii vyrashchivaniya i pererabotki. Sbornik materialov 2-i konferentsii. M., 2024. С. 39–40.

Поступила: 05.08.25; доработана после рецензирования: 02.10.25; принята к публикации: 12.11.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кравченко Н.С. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Костыленко О.А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьева Н.Г., Иванисова А.С. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПЦР-АНАЛИЗ НОВЫХ СОРТООБРАЗЦОВ РИСА НА ПРИСУТСТВИЕ ГЕНОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ПИРИКУЛЯРИОЗУ

П.И. Костылев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

Н.Н. Вожжова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, nvozhzh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000;

А.В. Аксенов, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X;

Е.В. Краснова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3, email: vniizk30@mail.ru

Рис является одной из основных продовольственных культур во всем мире, однако при поражении пирикуляриозом потери в его урожае могут достигать значительных размеров, составляя для мировой экономики ущерб более 70 млрд долларов. В связи с этим актуально выведение новых, устойчивых к пирикуляриозу сортов риса. Благодаря накопленному прогрессу в изучении генетического механизма устойчивости риса к пирикуляриозу найдено множество генов устойчивости (или локусов количественных признаков – QTL), пирамидирование ряда которых в одном генотипе способствует улучшению устойчивости и ускорению создания новых устойчивых сортов риса. Целью настоящего исследования является поиск и отбор линий риса, обладающих высоким потенциалом продуктивности и несущих пять генов устойчивости к пирикуляриозу: Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b и Pi-ta. Для этого выполняли идентификацию данных генов устойчивости молекулярно-генетическими методами: выделение ДНК, проведение ПЦР специфическими сцепленными с генами устойчивости молекулярными маркерами, проведение электрофореза, анализ электрофореграмм. В процессе анализа были выделены образцы риса контрольного питомника и конкурсного сортоиспытания, которые несли в генотипах сразу пять генов устойчивости (Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b и Pi-ta). Эти образцы среднеспелые, продолжительность вегетационного периода от залива до полной спелости составляет 120 дней. Растения высотой 90–100 см, имеют вертикальное расположение листьев и метелок. Метелки компактные, длиной 14–16 см, несут 120–180 колосков овальной формы, средней величины. Масса 1000 зерен в среднем 30–32 г. Образцы устойчивы к пирикуляриозу, полеганию и осыпанию. Урожайность в конкурсном сортоиспытании (2023–2024 гг.) в среднем составляла 7,64 т/га, превышая стандарт Южанин на 1,50 т/га.

Ключевые слова: рис, сорт, устойчивость к пирикуляриозу, молекулярные маркеры, идентификация генов, конкурсное сортоиспытание.

Для цитирования: Костылев П.И., Вожжова Н.Н., Аксенов А.В., Краснова Е.В. ПЦР-анализ новых сортов риса на присутствие генов устойчивости к пирикуляриозу // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 38–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-38-46.



PCR-ANALYSIS OF NEW RICE VARIETIES FOR THE PRESENCE OF BLAST RESISTANCE GENES

П.И. Костылев, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

Н.Н. Вожжова, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cell breeding, nvozhzh@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000;

А.В. Аксенов, junior researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X;

Е.В. Краснова, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

Rice is a basic food crop worldwide, but rice blast can cause significant yield losses, costing the global economy over \$70 billion. Therefore, the development of new blast-resistant rice varieties is crucial. Due to the accumulated progress in studying the genetic mechanism of rice resistance to blast, there have been found many resistance genes (or quantitative trait loci (QTL)), the pyramiding of a number of which in one genotype can improve resistance and accelerate the development of new resistant rice varieties. The purpose of the current study was to identify and select rice lines with high productivity potential and carrying five blast resistance genes Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b, and Pi-ta. These resistance genes were identified using molecular genetic methods, including DNA extraction, PCR with specific molecular markers linked to the resistance genes, electrophoresis, and electropherogram analysis. During the analysis, there have been identified rice samples of the control nursery and competitive variety testing that carried five resistance genes Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b, and Pi-ta in their genotypes. These were middle-maturing samples, with 120 days of vegetation from sowing to full maturity. The plants were 90–100 cm tall, with upright leaves and panicles. The panicles were compact, 14–16 cm, and had 120–180 medium-sized, oval-shaped spikelets. The mean value of 1000-grain weight was 30–32 g. The varieties were resistant to blast, lodging, and shattering.

The productivity in the competitive variety testing (2023-2024) averaged 7.64 t/ha, exceeding that of the standard 'Yuzhanin' by 1.50 t/ha.

Keywords: rice, variety, blast resistance, molecular markers, gene identification, competitive variety testing.

Введение. Рис является важной продовольственной культурой во всем мире, и более 50 % населения планеты используют рис в качестве основного продукта питания. Пирикуляриоз риса – это грибковое заболевание, вызываемое аскомицетами (*Magnaporthe grisea*), которое ежегодно наносит прямой экономический ущерб в размере более 70 млрд долларов (Scheuermann et al., 2012). Потери урожая из-за пирикуляриоза могут быть весьма значительными. Поэтому выведение новых сортов, устойчивых к болезням, – важный метод повышения урожайности риса. Углубленное изучение генетического механизма устойчивости риса к пирикуляриозу, в ходе которого исследуются гены устойчивости, или локусы количественных признаков (QTL), а также резистентный исходный материал, способствует прогрессу в селекции риса с использованием маркеров и ускорению выведения сортов риса, устойчивых к болезням (Guo et al., 2016).

Генетическая устойчивость риса к пирикуляриозу сложна по своей природе. Согласно результатам генетического анализа устойчивость сортов к этой болезни обусловлена синергетическим действием нескольких основных генов устойчивости в сочетании с несколькими локусами, что указывает на то, что она является количественным признаком. Известно о более 100 локусах устойчивости риса к пирикуляриозу (Wang et al., 2023).

Среди современных высокоэффективных методов борьбы с пирикуляриозом выделяется маркерная селекция. Селекция с использованием молекулярных маркеров (MAS) позволяет напрямую идентифицировать генотипы на уровне ДНК и выявлять целевые гены с помощью молекулярных маркеров, тесно связанных с целевыми признаками (Manoj et al., 2025).

Пирамидирование генов устойчивости широкого спектра действия способствует выведению сортов с устойчивостью широкого спектра действия и долговременной устойчивостью к *M. oryzae*. Китайские ученые показали, что уровень устойчивости к пирикуляриозу проростков и метелок у полигенных линий был значительно выше, чем у моногенных. Основная причина была в том, что большинство комбинаций генов обеспечивали трансгрессивный гетерозис (Wu et al., 2019).

Применение ДНК-маркеров направлено на создание генотипов, которые были бы устойчивы к заболеваниям сельскохозяйственных культур. Маркерные технологии позволяют выполнять отбор требуемых селекционеру генов в процессе целенаправленной селекции. Чтобы получить долгосрочную устойчивость растений, селекционерам требуется вводить не меньше 2-3-х эффективных генов устойчивости к пирикуляриозу, так как с одним геном резистентности сорта быстро ее теряют. Это

происходит по причине того, что устойчивость растений зачастую преодолевается возбудителем болезни из-за появления новых рас.

В Краснодарском крае с использованием мультиплексной системы ПЦР на основе фрагментного анализа среди изученных штаммов *Pyricularia oryzae* Cav. выявлено пять генотипов, каждый из которых характеризуется уникальным генетическим профилем (Нартымов и др., 2023). Поэтому сочетание в одном генотипе риса нескольких доминантных аллелей генов устойчивости к пирикуляриозу позволит растениям противостоять большому количеству рас патогена.

На Дальнем Востоке с помощью молекулярно-генетических маркеров изучены 13 сортов риса на наличие шести генов устойчивости к пирикуляриозу риса – Pi-2, Pi-9, Pi-b, Pi-z(t), Pi-1 и Pi-ta2, наиболее актуальных для региона. В восьми сортах обнаружено по одному гену резистентности – Pi-2 и Pi-ta2. В сорте Садко выявлено два гена – Pi-z(t) и Pi-ta2. Эти сорта риса используются для технологии пирамидирования генов в селекции на устойчивость риса к пирикуляриозу для Дальневосточной зоны рисосеяния (Илюшко и др., 2020).

В ФГБНУ «ФНЦ риса» на основе программы маркер-опосредованной селекции риса были созданы восемь сортов риса: Альянс, Ленарис, Восход, Фрегат, Валентина, Победитель (Дубина и др., 2024).

В АНЦ «Донской» работа по созданию линий риса с пятью генами устойчивости к пирикуляриозу с помощью метода молекулярного маркирования ведется с 2003 года. На первом этапе работы получены гибриды от скрещивания сортов Боярин и Вираж с донорами генов резистентности к пирикуляриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33. На втором этапе работы в процессе пирамидирования получены формы с этими тремя генами вместе. На третьем этапе проведена их гибридизация с донорами генов Pi-ta и Pi-b для объединения пяти генов. В результате многолетней работы с помощью маркерной селекции и ПЦР-анализа была получена линия риса Пентаген, совмещающая в себе пять эффективных генов устойчивости к этому патогену: Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b, Pi-ta. Однако она не показала высокую урожайность. Созданные здесь урожайные сорта Капитан и Пируэт имеют лишь по два гена устойчивости, что недостаточно в современных условиях.

Цель исследований – поиск и отбор линий риса, обладающих высоким потенциалом продуктивности и несущих пять генов устойчивости к пирикуляриозу: Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b и Pi-ta.

Материалы и методы исследований. Образцы для анализа были отобраны из селекционного, контрольного питомника (КП) и конкурсного сортоиспытания (КСИ) на полях ОП «Пролетарское» (Ростовская область)

в 2024 году. Посев образцов риса выполняли 2–8 мая сеялкой «Деметра» с нормой высева 500 зерен/м² на глубину 0,5–1 см. В контрольном питомнике площадь делянки составляла 25 м² в двукратной повторности, в конкурсном сортоиспытании – 50 м² в четырехкратной повторности. Залив чеков водой осуществляли 9–10 мая. Уборку урожая проводили после созревания зерна напрямую комбайном КС 575. Урожайность пересчитывали с учетом 14%-й влажности. В качестве стандарта использовали сорт риса Южанин, не обладающий генами устойчивости к пирикуляриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-ta, Pi-b.

Агрометеорологические условия для роста и развития риса в 2024 г. сложились вполне благоприятные. Погода характеризовалась пониженным количеством осадков в летний период и высокой суммой биологически активных температур – больше среднемноголетних значений.

Апрель в 2024 г. по температурному режиму (16,2 °C) был значительно выше среднемноголетних значений (12,0 °C). Количество осадков (25,4 мм при норме 42 мм) было недостаточным для появления всходов при посеве по естественным запасам влаги. Май был прохладным, среднемесячная температура воздуха составляла 15,5 °C (на 1,2 °C выше нормы). При среднемноголетней норме осадков 52 мм в 2024 г. их выпало 14,8 мм, то есть значительно меньше обычного.

Лето было очень жарким. Июнь имел повышенный температурный режим – 24,6 °C (на 4,5 °C выше нормы) и низкий уровень осадков – 14,8 мм при норме 62 мм. Для июля также была характерна повышенная температура – 27,8 °C (на 5,3 °C выше нормы). Осадков было много (106,7 мм при норме 62 мм), но это был только один сильный ливень. Августовская температура (25,1 °C) была существенно выше нормы, превышая среднемноголетние значения на 3,5 °C. Осадков за месяц выпало очень мало – 0,4 мм при среднемноголетней норме 49 мм.

Температурный режим сентября был повышенным – 21,2 °C (на 4,7 °C выше нормы). Осадков выпало 31,4 мм, что близко к норме (35 мм).

Сумма биологически активных температур в апреле – сентябре составила 3595 °C (норма 2900 °C), что способствовало созреванию всех сортов и образцов. Общая сумма осадков составила 187 мм при норме 302 мм. Такая сухая погода не способствовала развитию пирикуляриоза.

В качестве материнского родителя для анализируемых линий послужил образец Пентаген, имеющий в своем генотипе пять разных генов резистентности к пирикуляриозу, а отцовской формой – высокоурожайный сорт селекции АНЦ «Донской» Кубояр. От их скрещивания были получены гибридные популяции нескольких поколений, из которых ежегодно отбирали перспективные формы, которые постепенно

двигались через селекционный питомник в КП и КСИ, проходя жесткую браковку по морфобиологическим и структурным признакам.

Идентификацию локусов резистентности к пирикуляриозу осуществляли с помощью метода ПЦР-анализа с использованием кодоминантных маркеров – RM 224 (Pi-1), RM 527 (Pi-2), RM 310 (Pi-33), F4R5R6 (Pi-b), F1R1F2R2 (Pi-ta). Наибольший интерес представляли линии, имеющие все пять генов устойчивости к пирикуляриозу. Наличие генов резистентности к болезни контролировали ежегодно.

Для определения генотипов новых образцов риса сначала выделили ДНК из проростков (в соответствии с методом СТАВ) коммерческим набором MagPure Plant DNA Kit (Magen Biotech, Китай) с использованием прибора Allsheng Auto-Pure Mini (Allsheng, Китай). Общий объем ПЦР-реакции составлял 25 мкл, в которые входили 2,5 мкл 10x ПЦР-буфера, 25 мкл MgCl₂, 0,25–0,4 мкл ДНТФ, 1–2 мкл пар праймеров, 0,25 мкл Таq-ДНК-полимеразы и 3 мкл матричной ДНК. ПЦР проводили в амплификаторе T100 Thermal Cycler (BioRad, США).

Условия ПЦР включали первоначальную денатурацию при температуре 94–95 °C в течение 3–5 мин, затем 35 циклов по 30 с при температуре 94–95 °C, 30–35 с при температуре 60–65 °C и 30–40 с при температуре 72 °C, а затем финальную стадию элонгации при температуре 72 °C в течение 3–5 мин. Все продукты ПЦР разделяли с помощью 2-процентного агарозного геля (метод горизонтального электрофореза в агарозных гелях). Затем амплифицированные фрагменты ДНК были окрашены этидиум бромидом для визуализации. Фотографирование проводили прибором Bio-Rad Molecular Imager GelDoc XR+. После обработки данных с помощью программ Bio-Rad GelDoc Lab Image 5.1 и Microsoft Excel был определен генотип каждого растения.

Результаты и их обсуждение. Гибридизацию линии Пентаген, несущую гены устойчивости к пирикуляриозу Pi-1, Pi-2, Pi-33, Pi-b Pi-ta, с сортом Кубояр провели в 2015 году. По результатам ПЦР-анализа были отобраны гомозиготные линии, несущие доминантные аллели генов устойчивости. В 2017–2020 гг. из гибридных популяций F₂...F₅ провели многократный индивидуальный и массовый отбор растений, формировавших наиболее озрененные метелки. Отобранные лучшие линии с морфотипом сорта Кубояр изучали в селекционном, контрольном питомнике и в конкурсном сортоиспытании в период до 2024 года. В 2024 г. с делянок линий Пентаген x Кубояр были отобраны от трех до восьми метелок для ПЦР-анализа. В результате была установлена полиморфность образцов и присутствие различного количества аллелей.

В сеялочных делянках селекционного питомника (СП) было проверено 8 образцов (29 растений). У одного из них – № 4066 все генотипы оказались однородными и несли четыре гена из пяти, отсутствовал Pi-ta (табл. 1).

Таблица 1. Аллельное состояние генов устойчивости к пирикуляриозу у образцов риса селекционного питомника
Table 1. Allelic state of blast resistance genes in rice samples of the breeding nursery

№ образца	№ растения	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-b	Pi-ta
4065	1	0	0	2	0	0
4065	2	0	0	0	1	0
4065	3	0	2	2	2	0
4066	1	2	2	2	2	0
4066	2	2	2	2	2	0
4066	3	2	2	2	2	0
4066	4	2	2	2	2	0
4066	5	2	2	2	2	0
4066	6	2	2	2	2	0
4066	7	2	2	2	2	0
4066	8	2	2	2	2	0
4070	1	2	2	0	2	0
4070	2	2	2	2	1	0
4070	3	2	2	2	1	0
4071	1	0	0	0	1	0
4071	2	2	2	0	1	0
4071	3	0	0	0	1	0
4072	1	0	2	1	1	0
4072	2	0	2	0	1	0
4072	3	0	2	0	1	0
4084	1	0	2	2	1	0
4084	2	2	2	0	1	0
4084	3	0	2	0	1	0
4085	1	0	2	0	1	0
4085	2	0	2	0	0	0
4085	3	2	2	0	0	0
4095	1	2	2	0	0	0
4095	2	0	2	0	0	0
4095	3	2	0	0	0	0

Примечание. 0 – рецессивные гомозиготные аллели, 2 – доминантные гомозиготные аллели, 1 – гетерозиготные аллели.

Этот ген отсутствовал у всех образцов СП. Четыре гена обнаружено у двух из трех растений образца 4070, однако ген Pi-b был в гетерозиготном состоянии. У остальных образцов встречалось от 1 до 3 генов Pi.

В контролльном питомнике находилось семь образцов (31 растение) из комбинации Пентаген х Кубояр. У образца 4592 было обнаружено одно растение (№ 1), несущее все пять генов в гомозиготном состоянии (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2. Аллельное состояние генов устойчивости к пирикуляриозу у образцов риса контрольного питомника
Table 2. Allelic state of blast resistance genes in rice samples of the control nursery

№ образца	№ растения	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-b	Pi-ta
4580	1	0	2	1	0	1
4580	2	2	2	0	0	1
4580	3	0	0	0	0	1
4584	1	0	2	0	1	1
4584	2	0	2	0	2	1
4584	3	0	2	0	1	1
4585	1	2	2	2	0	1
4585	2	2	2	2	0	1
4585	3	2	2	2	0	1
4592	1	2	2	2	2	2
4592	2	2	2	2	0	0
4592	3	2	2	2	0	2
4592	4	2	0	2	0	2
4592	5	2	2	2	2	1
4592	6	2	1	2	1	1

Продолжение табл. 2

№ образца	№ растения	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-b	Pi-ta
4592	7	2	0	2	1	1
4592	8	2	2	2	1	2
4623	1	2	0	1	0	1
4623	2	2	0	0	1	1
4623	3	2	0	0	0	1
5232	1	2	0	0	0	0
5232	2	2	0	2	0	0
5232	3	2	2	2	2	0
7664	1	2	2	2	0	1
7664	2	0	2	2	1	1
7664	3	2	2	0	1	1
7664	4	0	2	2	1	1
7664	5	2	2	2	0	0
7664	6	0	2	2	1	1
7664	7	2	2	2	1	1
7664	8	0	2	2	1	1

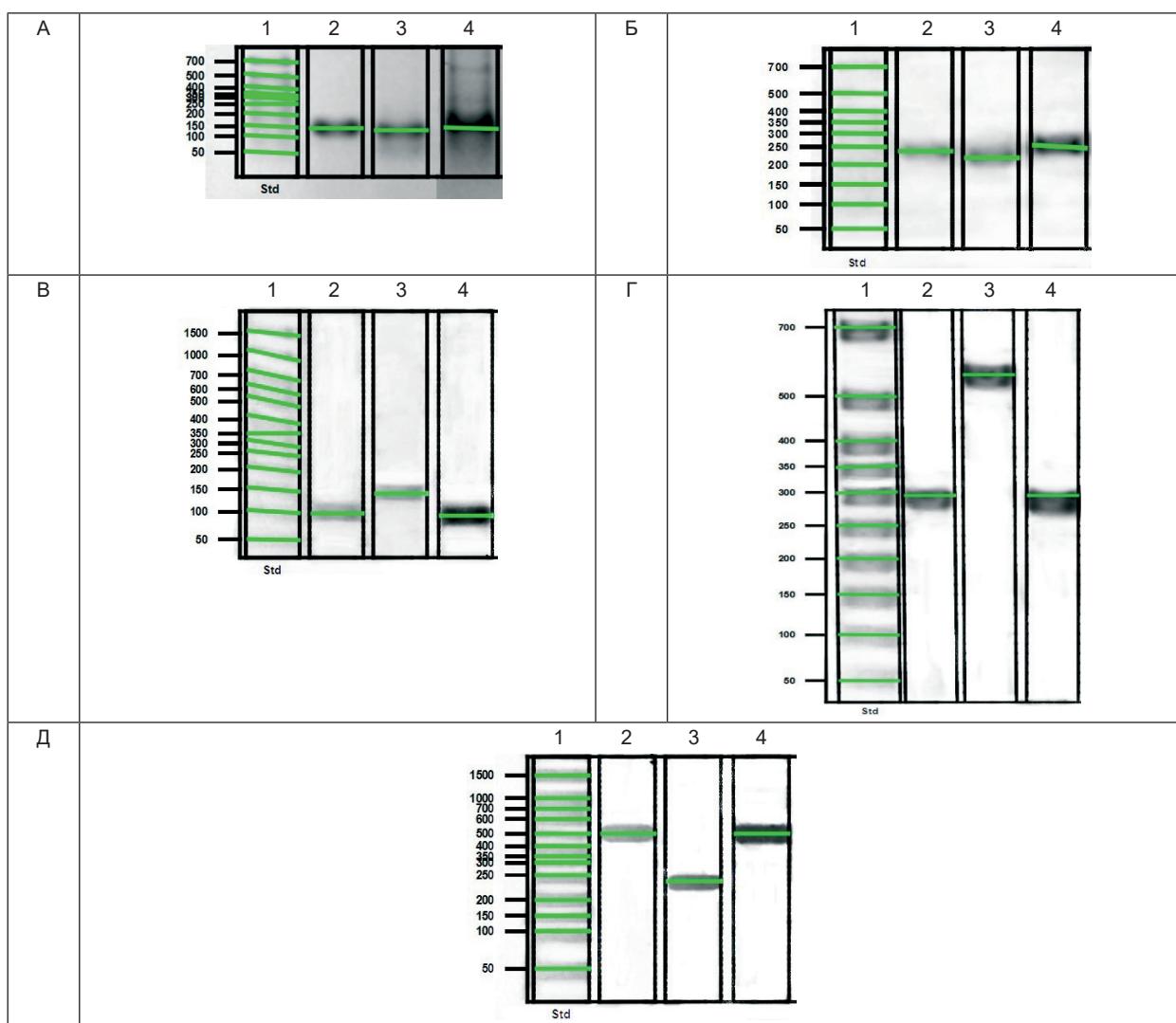


Рис. 1. Электрофорограммы образца 4592/1

по генам устойчивости к пирокуляриозу Pi-1 (А), Pi-2 (Б), Pi-33 (В), Pi-ta (Г), Pi-b (Д):

1 – маркер молекулярного веса: Евроген 50+bp (50–700 п.н.) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 п.н.),

2 – контроль доминантного аллеля гена (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),

3 – контроль рецессивного аллеля гена (Боярин), 4 – 4592/1

Fig. 1. Electropherograms of the sample '4592/1'

of the blast resistance genes Pi-1 (A), Pi-2 (B), Pi-33 (C), Pi-ta (D), Pi-b (D):

1 – molecular weight marker: Evrogen 50+ bp (50–700 bp) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 bp),

2 – control of dominant allele of gene (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),

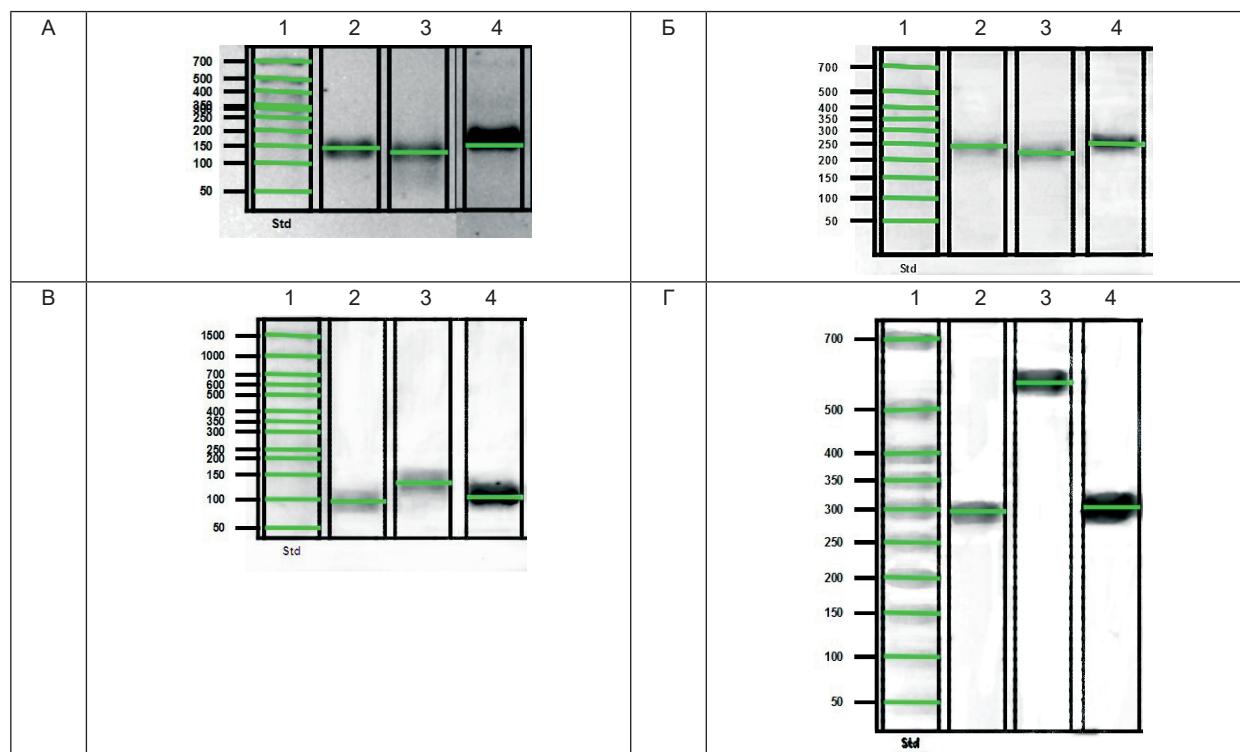
3 – control of recessive allele of gene ('Boyarin'), 4 – 4592/1

У растений № 5 и 8 было также по пять генов, но один из них в гетерозиготном состоянии, у № 6 – 2 гомозиготы, 3 – гетерозиготы.

У образца 7664, представленного восемью растениями, присутствовали от 3 до 5 доминантных генов в гомо- и гетерозиготном состоянии. Образец 5232/3 имел 4 гена, кроме Pi-ta, а образец 4585 – 4 гена, кроме Pi-b. У остальных растений было от одного до трех генов.

Таблица 3. Аллельное состояние генов устойчивости к пирикуляриозу у образцов риса в конкурсном сортоиспытании
Table 3. Allelic state of blast resistance genes in rice samples of the competitive variety testing

№ образца	№ растения	Pi-1	Pi-2	Pi-33	Pi-b	Pi-ta
5242	1	2	0	0	0	0
5242	2	2	2	0	2	0
5242	3	2	0	2	2	2
5242	4	2	2	0	2	0
5242	5	2	0	1	0	0
5242	6	2	2	2	2	2
5242	7	2	1	2	0	0
5242	8	2	2	0	2	2
5244	1	2	0	2	0	0
5244	2	2	0	2	0	0
5244	3	2	0	1	2	0
7666	1	2	0	0	0	0
7666	2	2	0	0	0	0
7666	3	2	0	0	0	0
7669	1	2	0	0	1	0
7669	2	2	0	2	0	0
7669	3	2	0	1	0	0
7686	1	2	0	0	0	0
7686	2	2	0	0	0	0
7686	3	2	0	2	2	2
7686	4	2	0	0	0	0
7686	5	2	0	2	2	2



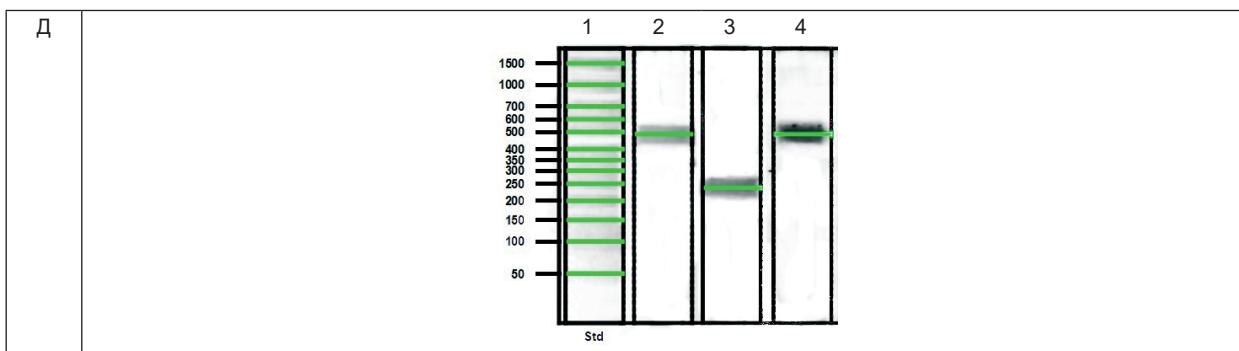


Рис. 2. Электрофореграммы образца 5242/6 по генам устойчивости к пирикуляриозу Pi-1 (А), Pi-2 (Б), Pi-33 (В), Pi-ta (Г), Pi-b (Д):
 1 – маркер молекулярного веса: Евроген 50+bp (50–700 п.н.) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 п.н.),
 2 – контроль доминантного аллеля гена (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),
 3 – контроль рецессивного аллеля гена (Боярин), 4 – 5242/6

Fig. 2. Electropherograms of the sample '5242/6'
 of the blast resistance genes Pi-1 (A), Pi-2 (B), Pi-33 (C), Pi-ta (D), Pi-b (D):
 1 – molecular weight marker: Evrogen 50+ bp (50–700 bp) / Biolabmix Step 50+ (50–1500 bp),
 2 – control of dominant allele of gene (C104Lac – Pi-1, Pi-33; C101LAC – Pi-2; YR-64 – Pi-ta; BL-1 – Pi-b),
 3 – control of recessive allele of gene ('Boyarin'), 4 – 5242/6

Остальные растения из этой делянки имели в своих генотипах от одного до четырех доминантных генов. Это свидетельствует о сегрегационном полиморфизме данного образца риса. Представляют интерес для селекции также образцы, несущие четыре гена Pi, такие как 5242 (3, 8), 7686 (3, 5).

Однако одной только оценки образцов на устойчивость к болезни недостаточно. Необходимо, чтобы эти устойчивые образцы имели еще и высокую продуктивность, поэтому

они были оценены на больших делянках после комбайновой уборки по урожайности. Было установлено, что в селекционном питомнике урожайность образцов варьировала от 6,53 до 8,90 т/га при урожайности стандартного сорта Южанин 7,2 т/га (табл. 4). Наибольшую урожайность сформировал образец 4066. Кроме того, оказалось, что он обладает четырьмя генами и очень выровнен по генетическому составу анализируемой выборки.

Таблица 4. Хозяйственно-биологическая характеристика образцов риса селекционного, контрольного и конкурсного питомников, 2024 г.
Table 4. Economic and biological characteristics of rice samples of the breeding, control and competitive nurseries, 2024

Образец, сорт	Урожайность, т/га	± к стандарту	Вегетационный период, дни	Высота растений, см
СП				
Южанин, ст.	7,20	0,00	113	105,5
4065	7,33	0,13	114	94,8
4066	8,90	1,70	110	92,7
4070	7,74	0,54	113	89,6
4071	6,82	-0,38	115	97,5
4072	8,42	1,22	112	93,3
4084	8,50	1,30	112	94,6
4085	6,53	-0,67	115	98,8
4095	6,83	-0,37	117	95,8
HCP ₀₅	0,68			
КП				
Южанин, ст.	7,93	0,00	113	109,8
4580	7,12	-0,81	113	95,8
4584	8,84	0,91	113	88,3
4585	6,93	-1,00	114	76,7
4592	10,65	2,72	106	96,7
4623	7,94	0,01	113	85,8
5232	6,31	-1,62	111	103,3
7664	6,60	-1,33	110	94,2
HCP ₀₅	0,51			

Продолжение табл. 4

Образец, сорт	Урожайность, т/га	± к стандарту	Вегетационный период, дни	Высота растений, см
КСИ				
Южанин, ст.	8,18	0,00	112	101,3
5242	8,80	0,62	108	93,8
5244	8,18	0,00	109	97,1
7666	8,91	0,73	113	99,5
7669	9,37	1,19	113	98,3
7686	10,33	2,15	113	100,8
HCP ₀₅	0,58			

В контролльном питомнике урожайность колебалась от 6,31 до 10,65 т/га при урожайности стандарта 7,93 т/га. Максимальная урожайность сформировалась у образца 4592 и составила 10,65 т/га, что выше стандарта на 2,72 т/га. Среди восьми растений этого образца было выявлено одно, которое несло все пять генов устойчивости болезни в гомозиготном состоянии.

В конкурсном сортоиспытании урожайность изучаемых образцов находилась в пределах от 8,18 т/га, как у стандарта Южанин, до наибольшей величины 10,33 т/га, которую показал образец 7686. Однако отобранные из него растения имели не все необходимые гены устойчивости: или один, или четыре. Образец 7669 также сформировал неплохую урожайность, превышающую стандарт на 1,19 т/га, но у него имеется только два гена.

У образца 5242 она составила 8,80 т/га, всего на 0,62 т/га выше стандарта, однако у него также было обнаружено растение с пятью генами устойчивости к пирикуляриозу. Этот вы-

деленный материал представляет собой большую ценность для дальнейшей селекционной работы. Все образцы высеваны в селекционном питомнике для размножения и последующего испытания на продуктивность с целью создания высокоурожайного сорта риса, устойчивого к пирикуляриозу.

Выходы. В результате проведенных исследований среди образцов лаборатории селекции и семеноводства риса нами были выделены образцы, несущие в себе гены с функциональными аллелями генов устойчивости к пирикуляриозу. Идентифицировано сочетание всех пяти изученных генов устойчивости к пирикуляриозу у двух селекционных образцов риса – 4592/1 и 5242/6.

Они высеваны в селекционном питомнике для размножения и испытания на продуктивность с последующим созданием урожайного сорта, устойчивого к пирикуляриозу.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № 0505-2025-0007 – ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

- Илюшко М.В., Ромашова М.В., Гученко С.С. Молекулярное маркирование генов устойчивости к пирикуляриозу в сортах риса дальневосточной селекции // Аграрная Россия. 2020. № 10. С. 30–33. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-10-30-33
- Дубина Е.В., Рубан М.Г., Лесняк С.А., Кутищева А.А. Создание с помощью ДНК-маркеров новых генотипов риса, устойчивых к пирикуляриозу // Генетический потенциал сельскохозяйственных растений и его реализация в селекции, семеноводстве и размножении. Всероссийская научно-практическая конференция Кубанского отд. ВОГиС. Краснодар, 2024. С. 63–66.
- Нартымов Д.В., Дубина Е.В., Рубан М.Г., Анискина Ю.В., Гаркуша С.В., Шилов И.А., Велишаева Н.С., Колобова О.С., Истомин Н.К. Изучение генетического разнообразия возбудителя пирикуляриоза риса *Rugicicularia oryzae* Cav. по комплексу молекулярных и морфологических признаков // Генетика. 2023. Т. 59, № 6. С. 640–647. DOI: 10.31857/S0016675823060127
- Guo L., Zhao H., Wang J., Liu H., Zheng H., Sun J., Yang L., Sha H., Zou D. Dissection of QTL alleles for blast resistance based on linkage and linkage disequilibrium mapping in japonica rice seedlings // Australasian Plant Pathol. 2016. Vol. 45. P. 209–218. DOI: 10.1007/s13313-016-0405-8
- Manoj C.S., Vipul P.P., Chirag P.C., Patel V.B., Denish S., Himani P.V., Kaushal M., Kedar N., Patel R.K. Molecular characterization and phenotypic selection for blast resistance and yield enhancement in rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Sci. Today. 2025. Vol. 12 (3). P. 1–11. DOI: 10.14719/pst.7726
- Scheuermann K.K., Raimondi J.V., Marschalek R., de Andrade1 A., Wickert E. Magnaporthe oryzae genetic diversity and its outcomes on the search for durable resistance. // The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity, Prof. Mahmut Caliskan (Ed.), ISBN: 978-953-51-0157-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/the-molecular-basis-of-plant-genetic-diversity/magnaporthe-oryzae-genetic-diversity-and-its-outcomes-on-the-search-for-durable-resistance>. 2012. P. 331–356. DOI: 10.5772/33479
- Wang Z.X., Yano M., Yamanouchi U., Iwamoto M., Monna L., Hayasaka H., Katayose Y., Sasaki T. The Pib gene for rice blast resistance belongs to the nucleotide binding and leucine rich repeat class of plant disease resistance genes // Plant Journal. 1999. Vol. 19(1). P. 55–64. DOI: 10.1046/j.1365-313x.1999.00498.x
- Wu Y., Xiao N., Chen Y., et al. Comprehensive evaluation of resistance effects of pyramiding lines with different broad-spectrum resistance genes against Magnaporthe oryzae in rice (*Oryza sativa* L.) // Rice. 2019. V. 12. article number 11. DOI: 10.1186/s12284-019-0264-3

References

1. Ilyushko M.V., Romashova M.V., Guchenko S.S. Molekulyarnoe markirovanie genov ustoichivosti k pirikulyariozu v sortakh risa dal'nevostochnoi selektsii [Molecular marking of blast resistance genes in rice varieties of the Far Eastern breeding] // Agrarnaya Rossiya. 2020. № 10. P. 30–33. DOI: 10.30906/1999-5636-2020-10-30-33
2. Dubina E.V., Ruban M.G., Lesnyak S.A., Kutishcheva A.A. Sozdanie s pomoshch'yu DNK-markerov novykh genotipov risa, ustoichivykh k pirikulyariozu [Development of new rice genotypes resistant to blast using DNA markers] // Geneticheskii potentsial sel'skokhozyaistvennykh rastenii i ego realizatsiya v selektsii, semenovodstve i razmnozhenii. Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya Kubanskogo otd. VOGiS. Krasnodar, 2024. P. 63–66.
3. Nartymov D.V., Dubina E.V., Ruban M.G., Aniskina Yu.V., Garkusha S.V., Shilov I.A., Velishaeva N.S., Kolobova O.S., Istomin N.K. Izuchenie geneticheskogo raznoobraziya vozбудителя pirikulyarioza risa *Pyricularia oryzae* Sav. po kompleksu molekulyarnykh i morfologicheskikh priznakov [Study of the genetic diversity of the rice blast pathogen *Pyricularia oryzae* Cav. according to a complex of molecular and morphological characteristics] // Genetika. 2023. T. 59, № 6. S. 640–647. DOI: 10.31857/S0016675823060127
4. Guo L., Zhao H., Wang J., Liu H., Zheng H., Sun J., Yang L., Sha H., Zou D. Dissection of QTL alleles for blast resistance based on linkage and linkage disequilibrium mapping in japonica rice seedlings // Australasian Plant Pathol. 2016. Vol. 45. P. 209–218. DOI: 10.1007/s13313-016-0405-8
5. Manoj C.S., Vipul P.P., Chirag P.C., Patel V.B., Denish S., Himani P.V., Kaushal M., Kedar N., Patel R.K. Molecular characterization and phenotypic selection for blast resistance and yield enhancement in rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Sci. Today. 2025. Vol. 12 (3). P. 1–11. DOI: 10.14719/pst.7726
6. Scheuermann K.K., Raimondi J.V., Marschalek R., de Andrade1 A., Wickert E. Magnaporthe oryzae genetic diversity and its outcomes on the search for durable resistance. // The Molecular Basis of Plant Genetic Diversity, Prof. Mahmut Caliskan (Ed.), ISBN: 978-953-51-0157-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/the-molecular-basis-of-plant-genetic-diversity/magnaporthe-oryzae-genetic-diversity-and-its-outcomes-on-the-search-for-durable-resistance>. 2012. P. 331–356. DOI: 10.5772/33479
7. Wang Z.X., Yano M., Yamanouchi U., Iwamoto M., Monna L., Hayasaka H., Katayose Y., Sasaki T. The Pib gene for rice blast resistance belongs to the nucleotide binding and leucine rich repeat class of plant disease resistance genes // Plant Journal. 1999. Vol. 19(1). P. 55–64. DOI: 10.1046/j.1365-313x.1999.00498.
8. Wu Y., Xiao N., Chen Y., et al. Comprehensive evaluation of resistance effects of pyramiding lines with different broad-spectrum resistance genes against Magnaporthe oryzae in rice (*Oryza sativa* L.) // Rice. 2019. V. 12. article number 11. DOI: 10.1186/s12284-019-0264-3

Поступила: 22.09.25; доработана после рецензирования: 19.11.25; принятa к публикации: 24.11.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Костылев П.И. – научное руководство, постановка цели и задач, концептуализация исследования, написание текста статьи; Вожжова Н.Н. – сбор и анализ данных, подготовка иллюстративного материала, редактирование текста статьи; Аксенов А.В. – структурный анализ образцов; Краснова Е.В. – предоставление образцов для исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АНДРОГЕНЕЗА *IN VITRO* ПРИ ПОЛУЧЕНИИ УДВОЕННЫХ ГАПЛОИДОВ РИСА

Н.Г. Черткова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;

Н.В. Калинина, научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;

В.Ю. Донцова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

П.И. Костылев, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848

ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Рис является одной из важных продовольственных культур, которая используется в питании большой части населения Земли. Применение метода культуры пыльников *in vitro* позволяет за 1–2 года получить гомозиготное потомство и генетически уникальный материал. Целью работы является оценка показателей эффективности культивирования пыльников и получение удвоенных гаплоидов риса. Количество сформировавшихся каллусов в пределах гибридов варьировало от 0 до 819 шт. Частота каллусообразования изменялась от 0 до 115 %. Установлено, что сформировали каллус 11 гибридов риса (61 %). В процессе культивирования каллусов на регенерационной среде получено 137 зеленых и 108 альбиносных растений. Наблюдалась низкая частота регенерации растений-регенерантов – 1,6 %. Наибольшее количество каллусов и высокий выход растений-регенерантов обнаружено у трех гибридов: Классик x Вирасан – 568 и 23 шт., Рапан 2 x Аргамак – 358 и 32 шт. и IR86385-248-2-1-B x Контакт – 819 и 152 шт. соответственно. Наибольшее количество растений-регенерантов после адаптации в почве получено у гибридного образца IR86385-248-2-1-B x Контакт (41 шт.), в том числе 4 шт. – удвоенные гаплоиды, а остальные 37 шт. – гаплоиды. Удвоенные гаплоидные растения-регенеранты сформировали метелки с высокой fertильностью (84,5 %). В дальнейший селекционный процесс включены линии IR86385-248-2-1-B x Контакт и Рапан 2 x Аргамак.

Ключевые слова: рис (*O. sativa L.*), культура пыльников *in vitro*, андрогенез, гаплоиды, удвоенные гаплоиды, тетраплоиды.

Для цитирования: Черткова Н.Г., Калинина Н.В., Донцова В.Ю., Костылев П.И. Оценка эффективности андрогенеза *in vitro* при получении удвоенных гаплоидов риса // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 6. С. 47–55. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-47-55.



ESTIMATION OF EFFICIENCY OF *IN VITRO* ANDROGENESIS IN THE PRODUCTION OF DOUBLED RICE HAPLOIDS

N.G. Chertkova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, tycik17082012@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4005-9771;

N.V. Kalinina, researcher of the laboratory for cell breeding, kalinina74783@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2305-4189;

V.Yu. Dontsova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

P.I. Kostylev, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”, 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

Rice is an important food crop, used to feed a large portion of the world's population. The use of *in vitro* anther culture makes possible to develop homozygous offspring and genetically unique material within 1–2 years. The purpose of the current study was to estimate the efficiency of anther cultures and the production of doubled rice haploids. The number of calli formed within the hybrids ranged from 0 to 819. The callus formation rate varied from 0 to 115 %. There has been found that eleven rice hybrids (61 %) formed callus. During callus cultivation on regeneration medium, there have been developed 137 green and 108 albino plants. There was a low regeneration rate of 1.6% among the regenerated plants. The largest number of calli and large productivity of regenerated plants were found in such three hybrids as 'Klassik x Virasan' with 568 and 23 pcs., 'Rapan 2 x Argamak' with 358 and 32 pcs. and 'IR86385-248-2-1-B x Kontakt' with 819 and 152 pcs., respectively. The largest number of regenerated plants after adaptation in soil was obtained from the hybrid sample 'IR86385-248-2-1-B x Kontakt' (41 pcs.), including 4 doubled haploids, and the remaining 37 haploids. Doubled haploid regenerated plants have formed panicles with high fertility (84.5%). The lines 'IR86385-248-2-1-B x Kontakt' and 'Rapan 2 x Argamak' were included in the further breeding process.

Keywords: rice (*O. sativa L.*), *in vitro* anther culture, androgenesis, haploids, doubled haploids, tetraploids.

Введение. Рис (*O. sativa L.*) является одной из важных продовольственных культур, кото- рую использует в питании большая часть населения Земли (Куум et al., 2021). Селекционеры

из разных стран активно разрабатывают инновационные подходы в выведении новых сортов и гибридов риса, которые будут обладать не только повышенной урожайностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, но также будут получены за более короткий срок (Gao et al., 2024). В зарубежных странах андрогенез *in vitro* широко используется для селекции сельскохозяйственных культур, в том числе риса (Maharani et al., 2020).

Традиционная селекция риса включает в себя скрещивание и отбор, который требует 8–10 поколений для получения чистых линий гетерогенной популяции. По сравнению с традиционными подходами, использование метода культивирования пыльников в селекционной работе позволяет значительно ускорить процесс селекции, получить гомозиготное потомство (удвоенных гаплоидов) и генетически уникальный материал за 1–2 года (Савенко и др., 2022).

Метод культивирования пыльников *in vitro* представляет собой двухуровневый процесс. На первом этапе наблюдается формирование каллусной ткани, которая в дальнейшем трансформируется во второй этап – регенерацию зеленых или альбиносных растений (Tripathy et al., 2019).

Успешное использование метода культуры пыльников в селекции риса зависит от некоторых эндогенных и экзогенных факторов, таких как генотип исходного материала, стадии развития микроспор, холодовой и обеззаражающей предобработки метелки, состава питательных сред для индукции каллуса и регенерации проростков, высокой частоты образования растений-альбиносов (Ahmadi et al., 2020).

В ходе исследований различных видов и подвидов риса ученые Gueye и Ndir пришли к выводу, что *O. glaberrima* демонстрирует более высокую эффективность в образовании каллусной ткани и регенерации по сравнению с *O. sativa* (Gueye and Ndir, 2010). По мнению Tripathy и его коллег, сорта подвида риса *japonica* демонстрируют повышенную чувствительность к каллусообразованию (28 %) по сравнению с сортами подвида *indica* (1,2 %). Сильная генотипическая вариативность в отношении появления растений-регенерантов наблюдалась, как и в случае с высокой частотой образования каллусов, у генотипов *japonica* – от 24,3 до 35,9 %, а у сортов *indica* – от 5,8 до 10 % (Tripathy et al., 2021). Температурный стресс необходим для смены фазы жизненного цикла микроспор. В различных работах рекомендуется температура предобработки 4–13 °C с продолжительностью воздействия 7–28 дней (Савенко, 2022; Илюшко, 2023). Оптимальный состав питательных сред необходимо подбирать экспериментальным путем для каждого генотипа, варьируя содержанием гормонов и углеводов (Tajedini et al., 2022). Таким образом, рациональным подходом является проведение селекционного отбора сор-

тов и линий риса с последующим включением в программы скрещивания образцов, демонстрирующих наилучшую реакцию на андрогенез *in vitro* (Pattnaik et al., 2020).

Целью работы является оценка показателей эффективности культивирования пыльников и получение удвоенных гаплоидов риса.

Материалы и методы исследований.

Исследование проводили в 2024 г. в лаборатории клеточной селекции. Для работы были отобраны 18 образцов риса (гибриды второго поколения и сорта), полученные в лаборатории селекции и семеноводства риса ФГБНУ «АНЦ «Донской». Растения-доноры пыльников выращивали в ОП «Пролетарское». Метелки риса отбирали в фазу выхода в трубку флагового листа, за 2–3 дня до выметывания. Оценку стадии развития микроспор проводили под микроскопом окрашиванием ацетокармином. Срезанные в поле метелки поверхностью стерилизовали 96%-м спиртом в течение 3 мин и выдерживали в сосудах с водой при температуре 5 °C в течение 7–10 дней. После предобработки холодом метелки вынимали из трубок флаговых листьев, разрезали на фрагменты и стерилизовали раствором «Белизна» в соотношении с дистиллированной водой 1:1 в течение 10 мин. Культура пыльников риса включала два последовательных этапа: 1) получение из пыльцевых зерен новообразований (эмбрионов или каллусов) на индукционной среде с регуляторами роста; 2) развитие из новообразований целых растений на регенерационной среде. Пыльники инокулировали в пробирки, содержащие 15–20 мл индукционной среды Блейдса с добавлением 30 г/л сахарозы; мио-инозита – 100 мг/л; агара – 8 г/л; 2,4-D – 2 мг/л. Пробирки с пыльниками 3–4 недели инкубировали в темноте при температуре 25–27 °C до появления первых эмбрионоподобных структур. После 30–50 дней инкубации новообразования, достигшие размеров 1 мм и более, переносили на регенерационную среду Мурасиге и Скуга (MS) с добавлением сахарозы – 20 г/л, мио-инозита – 100 мг/л, агара – 8 г/л, НУК – 1 мг/л и кинетина – 5 мг/л с последующим пассажем на безгормональную среду. Регенерация растений проходила при 12-часовом световом периоде, освещенности 2 тыс. Лк и температуре 22–25 °C. Для оценки эффективности культуры пыльников проводили учет по показателям: количество новообразований (эмбрионоподобных структур и каллусов) на 100 изолированных пыльников; количество морфогенных каллусов на 100 новообразований, общее количество растений на 100 изолированных пыльников; количество альбиносных растений на 100 новообразований; количество зеленых растений на 100 новообразований. Статистическая обработка данных была выполнена средствами программного пакета Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Андрогенную способность образцов риса в культуре пыльников *in vitro* оценивали по интенсивности

каллусообразования – способности пыльников образовывать андрогенные структуры (каллусы, эмбриоиды). Этот показатель важен для селекции риса, так как позволяет получать гаплоидные растения, а на их основе – гомозиготные линии. В результате эксперимента из метелок

риса извлечено и инокулировано на питательную среду 15722 пыльника. Количество высаженных пыльников варьировало по образцам от 254 шт. у комбинации Восход x Аргамак до 1466 шт. у Трио x Абсолют (табл. 1).

Таблица 1. Показатели андрогенной способности в культуре пыльников *in vitro* образцов риса
Table 1. Androgenic capacity indices in *in vitro* anther culture of rice samples

№	Комбинация	Название образца	Количество пыльников, шт.	Количество каллусов всего, шт.	Частота каллусообразования на 100 пыльников, %
1	3896	Вальс x Вирабан	464	0	0,0
2	3961	Вектор x Вирабан	1095	0	0,0
3	3934	Восход x Аргамак	254	246*	96,9
4	3945	Диалог x Аргамак	1195	71	5,9
5	3950	Злата x Аргамак	390	0	0,0
6	3941	Классик x Вирабан	494	568*	115,0
7	3898	Ленарис x Аргамак	1428	0	0,0
8	3957	Патриот x Аргамак	1167	83	7,1
9	3889	Престиж x Вирабан	912	0	0,0
10	3958	Рапан 2 x Аргамак	1246	354*	28,7
11	3966	Рубин x Аргамак	570	0	0,0
12	3937	Трио x Абсолют	1466	10	0,7
13	3892	Трио x Боярин	649	65	10,0
14	3962	Красноголовка	1200	437*	36,4
15	3938	(Inbara-3 x Новатор) x Вирабан	1128	94	8,3
16	3921	IR52713-2B-8-2B x Новатор	569	40	7,0
17	3923	IR52713-2B-8-2B-1-2 x Новатор	506	0	0,0
18	3922	IR86385-248-2-1-B x Контакт	989	819*	82,8
Сумма			15722,0	2712	391,0
Среднее			873,4	150,6	21,7
Стандартное отклонение			385,1	226,4	36,1

Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Пролиферация клеток по образцам риса значительно отличалась. Количество каллусов варьировало у гибридов от 0 до 819 шт. Частота каллусообразования на 100 пыльников изменялось в пределах от 0 до 115 %. Наибольшими значениями признака характеризовались гибриды IR86385-248-2-1-B x Контакт (819 шт., 82,8%), Восход x Аргамак (246 шт., 96,9%) и Классик x Вирабан (568 шт., 115,0%). Установлено, что не все образцы риса сформировали каллус, а только 11 из всех изученных (61 %), а 7 образцов (39 %) не были отзывчивы на индукцию.

Наблюдали разные типы морфогенеза у образцов риса в условиях *in vitro* на регенерационной среде. Эти процессы связаны с реализацией свойства totipotентности растительных клеток – способности одной клетки развиваться в целый организм. Часть каллусов в опыте имела зеленую окраску, плотную консистенцию с проявлением признаков дифференциации и последующим образованием полноценных растений. На других каллусах наблюдали геммогенез (почки, ростки) или ризогенез (корни) (рис. 1).

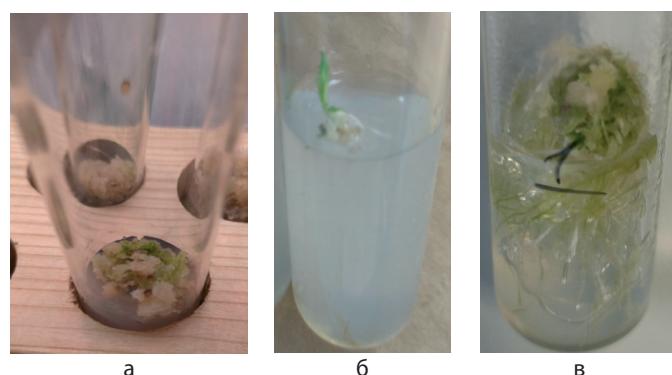
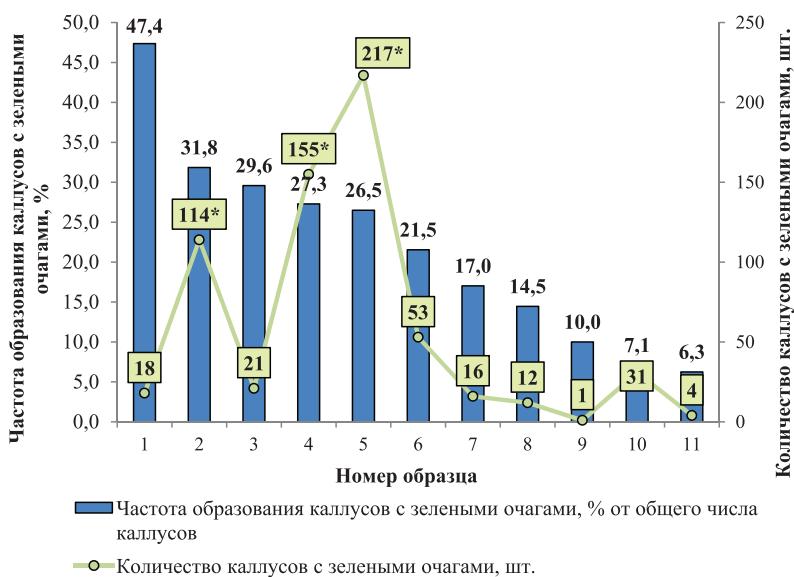


Рис. 1. Типы морфогенеза *in vitro* образцов риса:
Fig. 1. Types of morphogenesis in *in vitro* rice samples:
 а – зеленый морфогенный каллус, б – каллус с ростком, в – каллус с корнем

а – green morphogenic callus, б – callus with a sprout, в – callus with a root

Установлено, что 11 образцов сформировали каллусы с зелеными очагами (всего 642 шт., 13,3 % на 100 каллусов). Наибольшие значения частоты образования каллусов с зелеными очагами от общего их количества отмечены

у гибридных комбинаций Рапан 2 x Аргамак – 114 шт. (31,8 %), Классик x Вирасан – 155 шт. (27,3 %), IR86385-248-2-1-B x Контакт – 217 шт. (26,5 %) (рис. 2).



Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Рис. 2. Частота геммогенеза образцов риса в культуре пыльников *in vitro*:

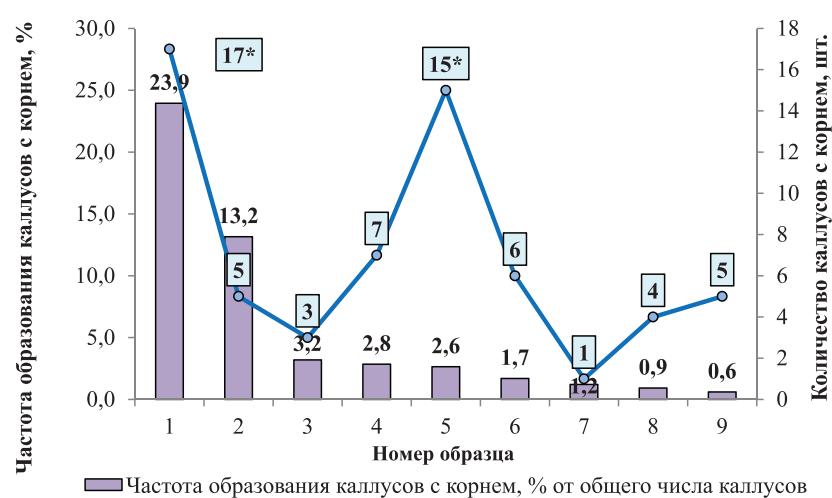
1 – IR52713-2B-8-2B x Новатор, 2 – Рапан 2 x Аргамак, 3 – Диалог x Аргамак, 4 – Классик x Вирасан, 5 – IR86385-248-2-1-B x Контакт, 6 – Восход x Аргамак, 7 – (Inbara-3 x Новатор) x Вирасан, 8 – Патриот x Аргамак, 9 – Трио x Абсолют, 10 – Красноголовка, 11 – Трио x Боярин

Fig. 2. Gemmogenesis frequency of rice samples in *in vitro* anther culture:

1 – IR52713-2B-8-2B x Novator, 2 – Rapan 2 x Argamak, 3 – Dialog x Argamak, 4 – Klassik x Virasan, 5 – IR86385-248-2-1-B x Kontakt, 6 – Voskhod x Argamak, 7 – (Inbara-3 x Novator) x Virasan, 8 – Patriot x Argamak, 9 – Trio x Absolut, 10 – Krasnogolovka, 11 – Trio x Boyarin

В процессе ризогенеза у образцов риса в культуре пыльников *in vitro* часть каллусов индуцировало развитие корней. Активность закладки корневых зачатков и развития кор-

невой системы зависит от генотипа и гормонального состава среды. Ризогенез наблюдали у 9 образцов риса (рис. 3).



Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Рис. 3. Частота ризогенеза образцов риса в культуре пыльников *in vitro*:

1 – Диалог x Аргамак, 2 – IR52713-2B-8-2B x Новатор, 3 – (Inbara-3 x Новатор) x Вирасан, 4 – Восход x Аргамак, 5 – Классик x Вирасан, 6 – Рапан 2 x Аргамак, 7 – Патриот x Аргамак, 8 – Красноголовка, 9 – IR86385-248-2-1-B x Контакт

Fig. 3. Rhizogenesis frequency of rice samples in *in vitro* anther culture:

1 – Dialog x Argamak, 2 – IR52713-2B-8-2B x Novator, 3 – (Inbara-3 x Novator) x Virasan, 4 – Voskhod x Argamak, 5 – Klassik x Virasan, 6 – Rapan 2 x Argamak, 7 – Patriot x Argamak, 8 – Krasnogolovka, 9 – IR86385-248-2-1-B x Kontakt

Максимальную частоту образования каллусов с корнем наблюдали у гибрида Диалог x Аргамак – 23,9% (17 шт.), а минимальную – у IR86385-248-2-1-B x Контакт – 0,6% (5 шт.).

Главный оценочный показатель эффективности культуры пыльников *in vitro* риса – соотношение количества растений-регенерантов к количеству культивируемых пыльни-

ков. Общее количество растений-регенерантов составило 245 шт. с частотой регенерации в среднем по опыту 1,6% на 100 пыльников. Варьирование по образцам составило 0–15,5% на 100 пыльников. В процессе культивирования каллусов на регенерационной среде получено 137 зеленых и 108 альбиносных растений (рис. 4).

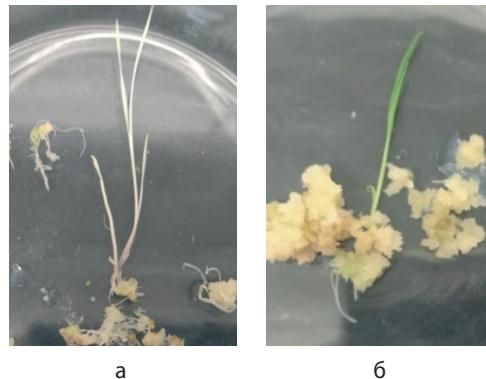


Рис. 4. Растения-регенеранты риса: а – альбинос, б – зеленое растение
Fig. 4. Regenerated rice plants: a – albino, b – green plant

Максимальное количество растений получено у образца риса (IR86385-248-2-1-B) x Контакт – 152 шт., в том числе зеленых расте-

ний 115 шт. с частотой на 100 новообразований 15,5%, а альбиносов – 37 шт., 5,0% (рис. 5).

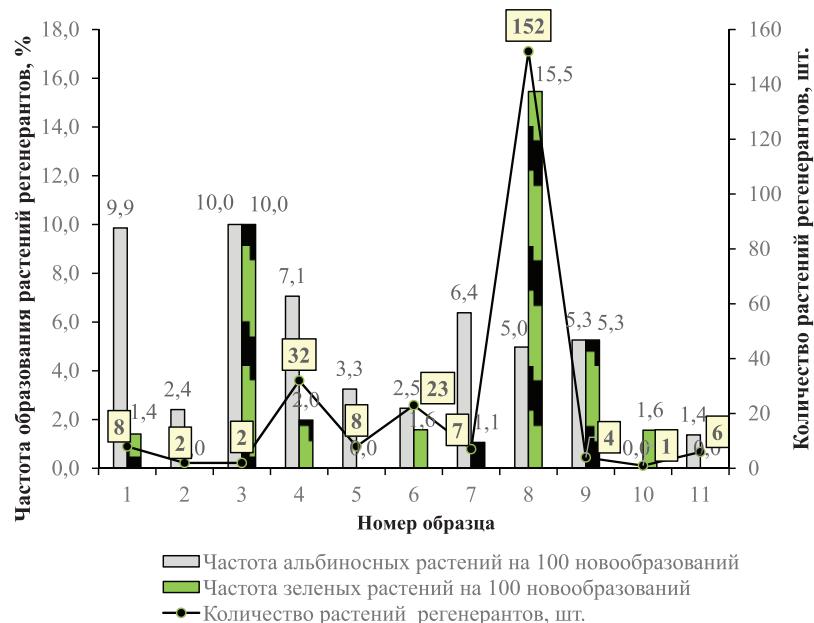


Рис. 5. Эффективность регенерации растений на 100 новообразований в андрогенезе *in vitro* гибридов риса:
1 – Диалог x Аргамак, 2 – Патриот x Аргамак, 3 – Трио x Абсолют, 4 – Рапан 2 x Аргамак, 5 – Восход x Аргамак,
6 – Классик x Вирасан, 7 – (Inbara-3 x Новатор) x Вирасан, 8 – IR86385-248-2-1-B x Контакт,
9 – IR52713-2B-8-2B x Новатор, 10 – Трио x Боярин, 11 – Красноголовка

Fig. 5. Plant regeneration efficiency per 100 new formations in *in vitro* androgenesis of rice hybrids:
1 – Dialog x Argamak, 2 – Patriot x Argamak, 3 – Trio x Absolut, 4 – Rapan 2 x Argamak, 5 – Voskhod x Argamak,
6 – Klassik x Virasan, 7 – (Inbara-3 x Novator) x Virasan, 8 – IR86385-248-2-1-B x Kontakt,
9 – IR52713-2B-8-2B x Novator, 10 – Trio x Boyarin, 11 – Krasnogolovka

У образцов Рапан 2 x Аргамак и Классик x Вирасан получено 32 и 23 растения-регенеранта, однако значение частоты регенерации зеленых растений на 100 новообразований было незначительным – 2,0 и 1,6% соответственно.

Коэффициент корреляции между количеством каллусов и растений риса составил $r = 0,81 \pm 0,09$ (тесная положительная связь) (рис. 6).

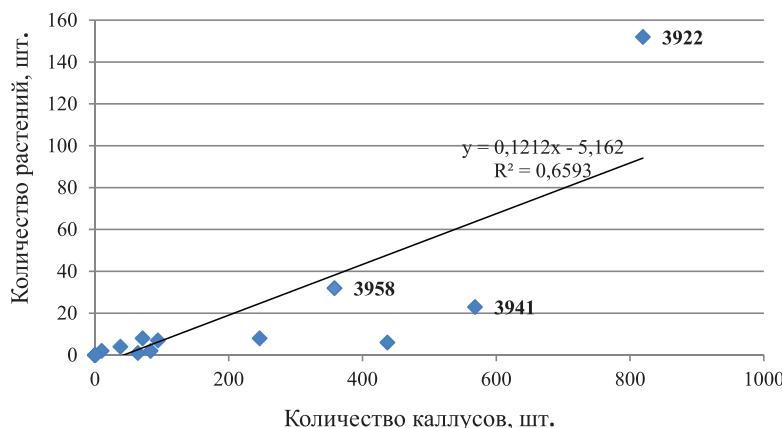


Рис. 6. Корреляционная взаимосвязь между выходом числа растений и количеством каллусов риса: 3958 (Рапан 2 x Аргамак), 3941 (Классик x Вирасан), 3922 (IR86385-248-2-1-B x Контакт)

Fig. 6. Correlation between plant productivity and a number of rice calli: 3958 (Rapan 2 x Argamak), 3941 (Klassik x Virasan), 3922 (IR86385-248-2-1-B x Kontakt)

График регрессии позволил оценить, как изменение количества каллусов сказывается на выходе растений. Если провести вверх перпендикуляр из значения 200 на оси абсцисс, он пересечет линию регрессии в точке горизонтальной проекции на ось ординат и составит около 20. Таким образом, при увеличении количества каллусов на 200 шт. число растений увеличивается на 20 шт.

Наибольшее количество каллусов и высокий выход растений обнаружены у трех гибридов: Классик x Вирасан – 568 и 23 шт., Рапан 2 x Аргамак – 358 и 32 шт. и IR86385-248-2-1-B x Контакт – 819 и 152 шт. соответственно. Чем больше изучаемый образец способен образовывать каллусов, тем выше выход растений. Эти результаты показали, что эффективность культуры пыльников *in vitro* трех генотипов в получении растений-регенерантов была лучше, чем у остальных образцов.

Зеленые растения-регенеранты, сформировавшие два и более листа, а также хорошую корневую систему, высажены в сосуды с почвой. Пробирочные растения, длительное время находившиеся в стерильных условиях (*in vitro*), при переходе в нестерильные (*in vivo*) подвергаются стрессовому воздействию. Это может привести к остановке в росте, отмиранию листьев и гибели растений. После адаптации растений к почвенным условиям к фазе выметывания осталось 58 растений. Ключевым шагом в применении метода культуры пыльников в селекционной программе является оценка уровня пloidности растений-регенерантов. Частое явление в процессе андрогенеза *in vitro* при получении удвоенных гаплоидов риса – спонтанное удвоение хромосом (Ahmadi et al., 2020), что подтверждается и в наших исследованиях. Полученные зеленые растения-регенеранты были разделены по морфологическим признакам на 3 группы: гаплоиды, удвоенные гаплоиды и тетраплоиды (рис. 7).



Рис. 7. Растения-регенеранты риса в теплице: а – тетраплоид; б – удвоенный гаплоид; в – гаплоид

Fig. 7. Regenerated rice plants in a greenhouse: a – tetraploid; b – doubled haploid; c – haploid

Наибольшее количество растений-регенерантов (41 шт.) получено у гибрида (IR86385-248-2-1-B) x Контакт, из них 4 шт. – удвоенные гаплоиды, а остальные 37 шт. – гаплоиды. Образец Рапан 2 x Аргамак представлен двумя тетраплоидами и одним гаплоидом. Гибрид Классик x Вирасан образовал только 9 гаплоидных растений, еще у пяти образцов риса получено по одному гаплоидному растению.

Гаплоидные растения-регенеранты риса характеризовались полной стерильностью метелок, коротким стеблем и узкими листьями. Тетраплоидные растения-регенеранты в сравнении с гаплоидными и удвоенными гаплоидами имели более длинный стебель, широкие листья и длинную метелку (Kostylev et al. 2023). Тетраплоиды были частично фертильными (5 %), удвоенные гаплоиды – высоко фертильными (84,5 %). На рисунке 8 представлены метелки и колоски растений-регенерантов.



Рис. 8. Морфологические признаки метелок и колосков растений-регенерантов риса разного уровня пloidности:

а – тетраплоид; б – удвоенный гаплоид; в – гаплоид
Fig. 8. Morphological traits of panicles and spikelets of regenerated rice plants of different ploidy levels:
a – tetraploid; b – doubled haploid; c – haploid

Проведенная морфологическая оценка полученных растений-регенерантов являлась достаточно надежной для отличия удвоенных

гаплоидов от растений других уровней пloidности. В таблице 2 представлены минимальные, максимальные и средние значения растений-регенерантов по изученным признакам в зависимости от уровня пloidности.

Варьирование по высоте у растений-регенерантов было от 30,0 до 88,0 см, в среднем величина этого признака составила у гаплоидов 41,3 см, у удвоенных гаплоидов – 65,1 см и тетраплоидов – 72,4 см. В целом растения хорошо кустились, образуя метелки от 2,0 до 19,0 шт. на одном растении. Длина метелки в среднем у гаплоидов составила 10,3 см, у удвоенных гаплоидов – 13,6 см, а у тетраплоидов – 15,0 см. Количество колосков на метелке у гаплоидов варьировало от 61,0 до 129,0 шт. (в среднем 95,0 шт.), у удвоенных гаплоидов – от 49,0 до 135,0 шт. (в среднем 98,0 шт.), у тетраплоидов – от 28,0 до 51,0 шт. (в среднем 34,2 шт.). Растения разного уровня пloidности существенно различались по размеру колосков. В среднем длина колосков варьировала от 4,0 мм (у гаплоидов) до 10,0 мм (у тетраплоидов), а ширина – от 3,0 мм (у гаплоидов) до 7,0 мм (у тетраплоидов). Гаплоидные растения-регенеранты были полностью стерильные, тетраплоидные в среднем образовали два зерна на метелку. Варьирование по количеству зерен с одной метелки у удвоенных гаплоидных растений составило от 61,0 до 100,0 шт. Полученный семенной материал был включен в селекционный процесс для получения новых сортов риса.

Таблица 2. Морфологические особенности растений-регенерантов риса разного уровня пloidности

Table 2. Morphological features of regenerated rice plants of different ploidy levels

Морфологический признак		Гаплоиды	Удвоенные гаплоиды	Тетраплоиды
Высота растения, см	min	30,0	43,0	58,0
	max	53,0	67,0	88,0
	среднее	41,3	65,1	72,4
Количество метелок с растения, шт.	min	2,0	5,0	4,0
	max	19,0	16,0	13,0
	среднее	10,0	10,0	8,0
Длина метелки, см	min	7,0	9,0	12,0
	max	13,5	16,0	19,0
	среднее	10,3	13,6	15,0
Количество колосков на одной метелке, шт.	min	61,0	49,0	28,0
	max	129,0	135,0	51,0
	среднее	95,0	98,0	34,2
Размер колосков, мм				
длина	min	3,0	6,0	9,0
	max	5,0	8,0	11,0
	среднее	4,0	7,0	10,0
ширина	min	2,0	5,0	4,0
	max	4,0	7,0	8,0
	среднее	3,0	6,0	7,0
Количество зерен с одной метелки, шт.	min		61,0	0,0
	max	0,0	100,0	4,0
	среднее		83,0	2,0

Выводы. Получение удвоенных гаплоидов проводили на основе 18 образцов риса. На индукцию отзовались 11 образцов (61 %). Высокая частота каллусообразования наблюдалась у гибридных комбинаций IR86385-248-2-1-B x Контакт (819 шт., 82,8 %), Классик x Вирабан (568 шт., 115 %), Восход x Аргамак (246 шт., 96,9 %). Выявлены разные типы морфогенеза на регенерационной среде, что, видимо, связано с генетическим полиморфизмом гибридного материала. Наибольшие значения частоты образования каллусов с зелеными очагами от общего их количества отмечены у гибридных комбинаций Рапан 2 x Аргамак (114 шт., 31,8 %), Классик x Вирабан (155 шт., 27,3 %), (IR86385-248-2-1-B) x Контакт (217 шт., 26,5 %). Частота регенерации растений в среднем составила 1,6 % на 100 пыльников. Всего получено 137 зеленых растений. Коэффициент корреляции подтвердил, что чем больше образец риса способен давать каллусы, тем выше выход растений ($r = 0,81 \pm 0,09$). Наибольшее ко-

личество зеленых растений после адаптации к почвенным условиям получено у гибридного образца (IR86385-248-2-1-B) x Контакт (41 шт.). Удвоение хромосом происходило спонтанно. Характеристика растений по уровню полидности проведена по морфологическим признакам, в том числе метелок и колосков, она была достаточно информативна. Удвоенные гаплоиды характеризовались высокой fertильностью метелок (84,5 %). В дальнейший селекционный процесс включены линии из комбинаций IR86385-248-2-1-B x Контакт и Рапан 2 x Аргамак.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств федерального бюджета в рамках Госзадания ФГБНУ «АНЦ» Донской» (№ 0505-2025-0007 «Использование методов молекулярной биологии и биотехнологии для контроля целевых генов селекционного материала и создания дигаплоидных линий зерновых культур»).

Библиографический список

1. Илюшко М.В., Ромашова М.В., Гученко С.С. Оценка частоты внутрикаллусной изменчивости андрогенных удвоенных гаплоидов риса (*Oryza sativa* L.) по генам устойчивости к пирокуляриозу // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58, № 3. С. 554–566. DOI:10.15389/agrobiology.2023.3.554rus
2. Савенко Е.Г., Мухина Ж.М., Глазырина В.А., Шундриня Л.А. Оптимизация клеточных технологий *in vitro* для ускоренного получения генераций риса *Oryza sativa* L. // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2022. № 144. С.114–121. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-114-121
3. Ahmadi B., Ebrahimzadeh H. *In vitro* androgenesis: spontaneous vs. artificial genome doubling and characterization of regenerants // Plant cell reports. 2020. Vol. 39(3). P. 299–316. DOI: 10.1007/s00299-020-02509-z
4. Gao R., Zong Y., Zhang S., Guo G., Zhang W., Chen Z., Lu R., Liu C., Wang Y., Li Y. Efcient isolated microspore culture protocol for callus induction and plantlet regeneration in japonica rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Methods. 2024. Vol. 20. P. 76. DOI:10.1186/s13007-024-01189-0
5. Gueye T., Ndir K.N. *In vitro* production of double haploid plants from two rice species (*Oryza sativa* L. and *Oryza glaberrima* Steudt.) for the rapid development of new breeding material // Sci Res Essays. 2010. Vol. 5. P. 709–713.
6. Kyum M., Kaur H., Kamboj A., Goyal L. Strategies and prospects of haploid induction in rice (*Oryza sativa*) // Plant Breeding. 2022. Vol. 141 (1). P.1-11. DOI: 10.1111/pbr.12971
7. Kostylev P., Kainina N., Vozhzhova N., Golubova V., Chertkova N. Creation of Rice Doubled Haploids Resistant to Prolonged Flooding Using Anther Culture // Plants. 2023. Vol. 12. P. 3681. DOI:10.3390/plants12213681
8. Maharani A., Fanata W.I.D., Laeli F.N., Kim K.M., Handoyo T. Callus Induction and Regeneration from Anther Cultures of Indonesian Indica Black Rice Cultivar // Journal of Crop Science and Biotechnology. 2020. Vol. 23 (1). P. 21–28. DOI:10.7324/JABB.2019.70216
9. Pattnaik S.S., Dash B., Bhuyan S.S., Katara J.L., Parameswaran C., Verma R., Ramesh N., Samantaray S. Anther culture efficiency in quality hybrid rice: A comparison between hybrid rice and its ratooned plants // Plants. 2020. Vol. 9(10). P. 1306. DOI: 10.3390/plants9101306
10. Tajedini S., Fakhen B., Niazian M., Mahdinezhad N., Ghanim A.M.A., Pour A.K., Ingelbrecht I., Shariatpanahi M. Efficient microspore embryogenesis and haploid induction in mutant indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars // Journal of Plant Growth regulation. 2022. Vol. 42, Iss. 4. P. 2345–2359. DOI: 10.1007/s00344-022-10709-y
11. Tripathy, S.K. High-throughput doubled haploid production for indica rice breeding / S.K. Tripathy, J.M. Segui Simarro // Doubled haploid technology. Methods molecular biology. N.Y.: Humana. 2021. Vol. 2287. P. 343–363. DOI: 10.1007/978-1-0716-315-3_20
12. Tripathy S.K., Swain D., Mohapatra P.M., Prusti A.M., Sahoo B., Panda S., Dash M., Chakma B., Behera S.K. Exploring factors affecting anther culture in rice (*Oryza sativa* L.) // Journal of Applied Biology and Biotechnology. 2019. Vol. 7(02). P. 87–92. DOI: 10.7324/JABB.2019.70216

References

1. Ilyushko M.V., Romashova M.V., Guchenko S.S. Otseňka chastoty vnutrikallusnoi izmenchivosti androgennykh udvoennykh gapoloidov risa (*Oryza sativa* L.) po genam ustoichivosti k pirikulyariozu [Estimation of intracallus variation frequency in androgenic doubled rice haploids (*Oryza sativa* L.) for blast resistance genes] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2023. T. 58, № 3. S. 554–566. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.3.554rus
2. Savenko E.G., Mukhina Zh.M., Glazyrina V.A., Shundrina L.A. Optimizatsiya kletochnykh tekhnologii *in vitro* dlya uskorenennogo polucheniya generatsii risa *Oryza sativa* L. [Optimization of *in vitro* cell

technologies for accelerated production of *Oryza sativa* L. rice generations] // Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada. 2022. № 144. S.114–121. DOI: 10.36305/0513-1634-2022-144-114-121

3. Ahmadi B., Ebrahimzadeh H. *In vitro* androgenesis: spontaneous vs. artificial genome doubling and characterization of regenerants // Plant cell reports. 2020. Vol. 39(3). P. 299–316. DOI: 10.1007/s00299-020-02509-z

4. Gao R., Zong Y., Zhang S., Guo G., Zhang W., Chen Z., Lu R., Liu C., Wang Y., Li Y. Efcient isolated microspore culture protocol for callus induction and plantlet regeneration in japonica rice (*Oryza sativa* L.) // Plant Methods. 2024. Vol. 20. P. 76. DOI:10.1186/s13007-024-01189-0

5. Gueye T., Ndir K.N. *In vitro* production of double haploid plants from two rice species (*Oryza sativa* L. and *Oryza glaberrima* Steudt.) for the rapid development of new breeding material // Sci Res Essays. 2010. Vol. 5. P. 709–713.

6. Kyum M., Kaur H., Kamboj A., Goyal L. Strategies and prospects of haploid induction in rice (*Oryza sativa*) // Plant Breeding. 2022. Vol. 141(1). P. 1–11. DOI: 10.1111/pbr.12971

7. Kostylev P., Kainina N., Vozhzhova N., Golubova V., Chertkova N. Creation of Rice Doubled Haploids Resistant to Prolonged Flooding Using Anther Culture // Plants. 2023. Vol. 12. P. 3681. DOI: 10.3390/plants12213681

8. Maharanı A., Fanata W.I. D., Laeli F.N., Kim K.M., Handoyo T. Callus Induction and Regeneration from Anther Cultures of Indonesian Indica Black Rice Cultivar // Journal of Crop Science and Biotechnology. 2020. Vol. 23(1). P. 21–28. DOI:10.7324/JABB.2019.70216

9. Pattnaik S.S., Dash B., Bhuyan S.S., Katara J.L., Parameswaran C., Verma R., Ramesh N., Samantaray S. Anther culture efficiency in quality hybrid rice: A comparison between hybrid rice and its ratooned plants // Plants. 2020. Vol. 9(10). P. 1306. DOI: 10.3390/plants9101306

10. Tajedini S., Fakhen B., Niazian M., Mahdinezhad N., Ghanim A.M.A., Pour A.K., Ingelbrecht I., Shariatiapanahi M. Efficient microspore embryogenesis and haploid induction in mutant indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars // Journal of Plant Growth regulation. 2022. Vol. 42. Iss. 4. P. 2345–2359. DOI: 10.1007/s00344-022-10709-y

11. Tripathy, S.K. High-throughput doubled haploid production for indica rice breeding / S.K. Tripathy, J.M. Segui Simarro // Doubled haploid technology. Methods molecular biology. N.Y.: Humana. 2021. Vol. 2287. P. 343–363. DOI: 10.1007/978-1-0716-315-3_20

12. Tripathy S.K., Swain D., Mohapatra P.M., Prusti A.M., Sahoo B., Panda S., Dash M., Chakma B., Behera S.K. Exploring factors affecting anther culture in rice (*Oryza sativa* L.) // Journal of Applied Biology and Biotechnology. 2019. Vol. 7(02). P. 87–92. DOI: 10.7324/JABB.2019.70216

Поступила: 16.10.25; доработана после рецензирования 11.11.25; принята к публикации:13.11.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Калинина Н.В. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, финальная доработка текста; Донцова В.Ю., Черткова Н.Г. – выполнение лабораторных опытов, сбор, анализ литературных и лабораторных данных, подготовка рукописи; Костылев П.И. – предоставление материала для исследований, критический анализ текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЭСПАРЦЕТА В УСЛОВИЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Регидин, научный сотрудник лаборатории многолетних трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3246-1501;

К.Н. Горюнов, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории многолетних трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5685-6508

ФГБНУ «АНЦ «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3, e-mail: vniizk30@mail.ru

Потенциальная продуктивность сельскохозяйственных культур и устойчивость их к неблагоприятным факторам среды на фоне изменяющихся климатических условий привлекает все большее внимание. Поэтому изучение адаптивных свойств культур, способность приспособливаться к условиям среды, при этом формировать хорошую урожайность является актуальным направлением. Цель исследований – оценка некоторых параметров адаптивности коллекционных образцов эспарцета в условиях Ростовской области. Исследования проводили в лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав ФГБНУ «АНЦ «Донской». Норма высея – 10 г/дел. Посев производили вручную на площади 1 м². Повторность четырехкратная. Наибольшей урожайностью сухой массы как в среднем, так и по годам отличались образцы Син 1.15, Син 132 и Син 126, средняя их урожайность составляла 1,21–1,22 кг/м². В изучаемом питомнике образцы Син 26, Син 126, Син 132 и Син 141 оказались самыми отзывчивыми на изменения условий окружающей среды, их показатель *bi* был в пределах 3,15–4,79, наименее отзывчивыми были образцы Син 31, Син 124 и Син 2.15 (0,21–0,53). Наибольшей стрессоустойчивостью отметился образец Син 124 (-0,10 кг/м²), остальные были на уровне стандарта или превосходили его. Генетическая гибкость изучаемых образцов была в пределах 0,88–1,23 кг/м². При показателе у стандарта 0,88 кг/м² практически все изучаемые образцы с показателями 0,88–1,23 кг/м² были на уровне или превосходили стандарт. Высокой гомеостатичностью выделялись образцы Син 125, Син 124, Син 131, Син 135, Син 1.15 с показателями 43,38–84,60. Наибольшая урожайность семян зафиксирована у образцов Син 127 (186,0 г/м²) и Син 142 (184,3 г/м²). Коэффициент регрессии по признаку «урожайность семян» у стандарта и образцов Син 126, Син 149, Син 9.15 был низким (0,11–0,16), самыми высокими показателями *bi* отметились образцы Син 26 (1,75), Син 31 (1,96) и Син 40 (1,78). Наиболее стрессоустойчивым оказался стандартный сорт Велес (-6,0 г/м²). Наибольшие показатели генетической гибкости были у образцов Син 127 (187,0 г/м²), Син 142 (180,5 г/м²) и Син 1.15 (171,5 г/м²). Образцы Син 126, Син 127, Син 141 и Син 103.15 с гомеостатичностью 147,16–276,06 являются самыми устойчивыми к сезонным изменениям условий среды.

Ключевые слова: эспарцет, образец, адаптивность, продуктивность, сухое вещество, семена.

Для цитирования: Регидин А.А., Горюнов К.Н. Параметры адаптивности коллекционных образцов эспарцета в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 56–62. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-56-62.



ADAPTABILITY PARAMETERS OF COLLECTION SAMPLES OF SAINFOIN IN THE ROSTOV REGION

А.А. Регидин, исследователь лаборатории для разведения и семеноводства переносных трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3246-1501;

К.Н. Горюнов, кандидат сельскохозяйственных наук, младший исследователь лаборатории для разведения и семеноводства переносных трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5685-6508

ФСБСИ Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; email: vniizk30@mail.ru

The potential productivity of agricultural crops and their resistance to adverse environmental factors is of increased attention due to changing climate conditions. Therefore, the study of the adaptive properties of crops, the ability to adapt to environmental conditions with producing good yields is a crucial area of the research. The purpose of the current study was to estimate some adaptability parameters of the sainfoin collection samples in the Rostov Region. The study was conducted in the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses at the FSBSI “ARC “Donskoy”. The seeding rate was 10 g per plot. Sowing was done manually on the area of 1 m². The seeding was repeated four times. The highest dry matter yields, both on average and through the years, were given by the samples ‘Sin 1.15’, ‘Sin 132’, and ‘Sin 126’, with average 1.21–1.22 kg/m². In the experimental nursery, the samples ‘Sin 26’, ‘Sin 126’, ‘Sin 132’ and ‘Sin 141’ turned out to be the most responsive to environment changes, their *bi* value ranged from 3.15 to 4.79, the least responsive were the samples ‘Sin 31’, ‘Sin 124’ and ‘Sin 2.15’ with 0.21–0.53. The sample ‘Sin 124’ demonstrated the highest stress resistance (-0.10 kg/m²); the others were equal to or exceeded the standard. The genetic flexibility of the studied samples ranged from 0.88 to 1.23 kg/m². Though the standard was of 0.88 kg/m², all samples with 0.88–1.23 kg/m² were equal to or exceeded the standard. The samples ‘Sin 125’, ‘Sin 124’, ‘Sin 131’, ‘Sin 135’, and ‘Sin 1.15’ were characterized with high homeostaticity with indicators of 43.38–84.60. The highest seed productivity was established in the samples ‘Sin 127’ with 186.0 g/m² and ‘Sin 142’ with 184.3 g/m². According to the trait “seed productivity” the regression coefficient

of the standard and the samples 'Sin 126', 'Sin 149', and 'Sin 9.15' was low with 0.11–0.16. The highest bi values were determined in the samples 'Sin 26' (1.75), 'Sin 31' (1.96), and 'Sin 40' (1.78). The standard variety 'Veles' proved to be the most stress-resistant with -6.0 g/m². The highest genetic flexibility indices were demonstrated by the samples 'Sin 127' (187.0 g/m²), 'Sin 142' (180.5 g/m²), and 'Sin 1.15' (171.5 g/m²). The samples 'Sin 126', 'Sin 127', 'Sin 141', and 'Sin 103.15' with homeostasis of 147.16–276.06 are the most resistant to seasonal environment changes.

Keywords: *sainfoin, sample, adaptability, productivity, dry matter, seeds.*

Введение. Потенциальная продуктивность сельскохозяйственных культур и устойчивость их к неблагоприятным факторам среды на фоне изменяющихся климатических условий привлекает все большее внимание (Павлова и др., 2020; Антонов и др., 2024). Поэтому многие учёные изучают адаптивные свойства культур, способность приспособливаться к условиям среды, при этом формировать хорошую урожайность (Радченко и др., 2020; Юсова и др., 2020; Мальчиков и Мясникова, 2021; Засыпкина и Донцова, 2024). Погодно-климатические условия часто оказывают решающее влияние на продуктивность корма и семян у многолетних бобовых трав. Основное влияние оказывают температуры воздуха и степень увлажнения (Мальчиков и др., 2024).

Ценность многолетних бобовых трав обуславливается улучшением почвенного плодородия (рассоление и обеспечение азотом), что может значительно снижать материальные затраты в дальнейшей эксплуатации посевных площадей. К тому же возделывание бобовых трав позволяет обеспечить животноводческую отрасль качественными высокобелковыми кормами, что положительно влияет на продуктивность животных.

Эспарцет – многолетняя бобовая культура, которая на сегодняшний день пользуется все большим спросом у сельскохозяйственных товаропроизводителей. Эспарцетовый корм содержит большое количество питательных веществ, что важно для нормального роста и развития животных. В севообороте эспарцет выступает отличным предшественником для зерновых колосовых культур, не уступая таким зернобобовым культурам, как нут или горох. В сравнении с мелкосемянными травами эспарцет более технологичен при посеве и уборке семенников (Vasileva, 2019). Наличие интереса товаропроизводителей и постоянно изменяющиеся погодные условия в нашем регионе влекут за собой необходимость интенсификации селекционного процесса и оценки адаптивности нового селекционного материала.

Цель исследований – оценка некоторых параметров адаптивности коллекционных образцов эспарцета в условиях Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав ФГБНУ «АНЦ «Донской». Объектом исследований являлся коллекционный питомник эспарцета, состоящий из 25 образцов собственной селекции. Норма высева – 10 г/дел. Посев проводили вручную на площади 1 м². Повторность четырехкратная. Почвенный покров участка представлен черноземом обыкновенным мощ-

ным карбонатным тяжелосуглинистым. В слое почвы 0–20 см содержание гумуса 3,6 %, подвижного фосфора – 18 мг/кг почвы, обменного калия – 320 мг/кг почвы. Полевые опыты, фенологические наблюдения и биометрические учеты выполняли по «Методическим указаниям по селекции и семеноводству многолетних трав» (1985), «Методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (2019). Оценку параметров адаптивности выполняли по методикам S.A. Eberchart, W.A. Russel (1966) в изложении В.А. Зыкина и др. (2011), по А.А. Гончаренко (2005) проводили расчет стрессоустойчивости и генетической гибкости, гомеостатичность рассчитывали по методике Хангильдина (1981).

Погодные условия за период изучения имели различия со среднемноголетними показателями. В марте 2020 г. осадки отсутствовали, в апреле выпало лишь 18,2 мм, что ниже среднемноголетней нормы (42,7 мм), в мае количество выпавших осадков было больше на 28,6 мм от среднемноголетних значений (51,3 мм.) В марте температура воздуха была выше 5,6 °C, а в апреле и мае – ниже среднемноголетних на 1,6 и 1,1 °C соответственно. Весенне-летний период 2021 г. отличался повышенным выпадением осадков (март–июнь), превышая среднемноголетние показатели в 1,5–2 раза. Температурный режим был выше нормы на 2,0 °C. Фазы развития растений про текали при благоприятных условиях. Не равномерное, но достаточное количество выпавших осадков в условиях 2022 г. – 140 мм (среднемноголетнее – 131 мм) способствовало благоприятному развитию растений, а температура воздуха (35,3 °C) была выше значений среднемноголетних данных (29,2 °C).

Результаты и их обсуждение. Минимальная урожайность сухого вещества стандарта Велес была сформирована в условиях 2021 г. и составляла 0,77 кг/м², максимальная урожайность была зафиксирована в 2022 г. и составляла 0,99 кг/м² (табл. 1).

В среднем 15 образцов питомника превышали стандарт по урожайности сухого вещества, превышение составляло 0,11–0,34 кг/м². Наибольшими показателями как в среднем, так и по годам отличались образцы Син 1.15, Син 132 и Син 126, средняя их урожайность составляла 1,21–1,22 кг/м² при коэффициентах вариации 11,15; 12,26 и 30,34 % соответственно, при этом образцы сформировали наибольшую урожайности в условиях 2020 г. – 1,30; 1,72 и 1,60 кг/м² соответственно. По показателю «урожайность сухого вещества» коэффициент регрессии изучаемых образцов варьировал в широком диапазоне. В изучаемом питомнике образцы Син 26, Син 126, Син 132 и Син 141

оказались самыми отзывчивыми на изменения условий окружающей среды, их показатель bi был в пределах 3,15–4,79, наименее отзывчивыми были образцы Син 31, Син 124 и Син 2.15 (0,21–0,53). Показатель bi образца Син 28 был

равен 1,00, что говорит о полном соответствии изменения урожайности сухой массы изменениям условий, то есть этот сорт является пластичным.

Таблица 1. Влияние условий выращивания на урожайность сухой массы образцов эспарцета, 2020–2022 гг.
Table 1. Effect of growing conditions on dry matter yields of sainfoin samples, 2020–2022

Сорт	Средняя урожайность, кг/м ²			$\sum Y_i$	Y_i	bi
	2020	2021	2022			
Велес, ст.	0,90	0,77	0,99	2,66	0,88	0,95
Син 26	1,32	0,88	0,76	2,96	0,99	3,15
Син 28	0,99	0,94	0,76	2,69	0,89	1,00
Син 31	0,93	0,88	1,15	2,96	0,99	0,53
Син 38	1,03	0,85	1,19	3,07	1,02	1,26
Син 40	1,13	0,96	1,38	3,47	1,16	1,16
Син 125	1,05	0,99	0,85	2,89	0,96	1,05
Син 124	0,92	0,91	0,92	2,75	0,92	0,53
Син 126	1,60	0,86	1,21	3,67	1,22	4,79
Син 127	1,04	0,96	1,26	3,26	1,09	0,84
Син 131	1,16	1,03	1,28	3,47	1,16	1,16
Син 132	1,72	1,14	0,79	3,65	1,21	4,63
Син 135	1,01	0,89	0,85	2,75	0,92	1,26
Син 141	1,42	0,86	1,09	3,37	1,12	3,68
Син 142	1,14	0,91	0,77	2,82	0,94	2,10
Син 149	1,04	1,03	0,85	2,92	0,97	0,79
Син 146	1,09	1,07	0,75	2,91	0,97	1,05
Син 147	1,05	0,91	0,78	2,74	0,91	1,47
Син 102.15	1,01	0,94	0,76	2,71	0,90	1,10
Син 103.15	1,14	0,81	0,70	2,65	0,88	2,63
Син 111.15	1,33	0,94	1,25	3,52	1,17	2,63
Син 1.15	1,30	1,06	1,29	3,65	1,22	1,68
Син 2.15	1,03	1,04	1,30	3,37	1,12	0,21
Син 9.15	1,23	0,93	0,92	3,08	1,03	2,42
Син 200.15	1,15	0,95	0,86	2,96	0,99	1,84
Син 203.15	1,03	0,82	0,87	2,72	0,92	1,74
HCP ₀₅	0,09	0,11	0,08	–	0,09	–
$\sum Y_i$	29,76	24,33	25,58	79,67	–	–
Y_i	1,14	0,93	0,98	–	1,02	–
Y_i	+0,12	-0,09	-0,03	–	–	–

Уровень устойчивости образцов к стрессовым условиям определялся как разность минимальной и максимальной урожайностей сухого вещества изучаемых образцов эспарцета,

этот показатель отражает способность формирования урожайности в контрастных условиях (табл. 2).

Таблица 2. Параметры адаптивности образцов эспарцета по признаку «урожайность сухой массы», 2020–2022 гг.
Table 2. Adaptability parameters of sainfoin samples according to the trait “dry matter yield”, 2020–2022

Сорт	Размах варьирования, г/м ²	Стрессоустойчивость, $Y_{min} - Y_{max}$, г/м ²	Генетическая гибкость, $(Y_{min} + Y_{max})/2$	CV, %	Коэффициент стабильности, σ^2	НОМ
Велес, ст.	0,77–0,99	-0,22	0,88	12,50	0,02	32,26
Син 26	0,76–1,32	-0,56	1,04	29,73	0,06	6,12
Син 28	0,76–0,99	-0,23	0,77	13,62	0,04	28,69
Син 31	0,88–1,15	-0,27	1,02	14,53	0,05	25,13
Син 38	0,85–1,19	-0,34	1,02	57,06	0,05	10,56
Син 40	0,96–1,38	-0,42	1,17	18,23	0,09	15,18
Син 125	0,85–1,05	-0,20	0,95	10,72	0,02	46,08
Син 124	0,91–0,92	-0,10	0,92	1,09	0,01	84,60
Син 126	0,86–1,60	-0,74	1,23	30,34	0,05	5,45

Продолжение табл. 2

Сорт	Размах варьирования, г/м ²	Стрессоустойчивость, $Y_{\min}-Y_{\max}$, г/м ²	Генетическая гибкость, $(Y_{\min}+Y_{\max})/2$	CV, %	Коэффициент стабильности, σd^2	НОМ
Син 127	0,96–1,26	-0,30	1,11	14,27	0,04	25,54
Син 131	1,03–1,28	-0,25	1,16	10,77	0,04	43,38
Син 132	0,79–1,72	-0,93	1,26	12,26	0,22	10,61
Син 135	0,85–1,01	-0,16	0,93	9,09	0,01	63,63
Син 141	0,86–1,42	-0,56	1,14	30,19	0,03	6,63
Син 142	0,77–1,14	-0,37	0,96	19,87	0,04	12,98
Син 149	0,88–1,04	-0,26	0,91	21,92	0,02	34,85
Син 146	0,75–1,09	-0,34	0,92	19,67	0,04	14,70
Син 147	0,78–1,05	-0,27	0,92	14,87	0,09	23,00
Син 102.15	0,76–1,01	-0,25	0,88	14,36	0,03	18,40
Син 103.15	0,70–1,14	-0,49	0,92	26,04	0,05	7,74
Син 111.15	0,94–1,33	-0,39	1,14	17,62	0,05	17,11
Син 1.15	1,06–1,30	-0,24	1,18	11,15	0,01	45,09
Син 2.15	1,04–1,30	-0,26	1,17	13,69	0,06	30,58
Син 9.15	0,92–1,23	-0,31	1,08	17,12	0,03	19,65
Син 200.15	0,86–1,15	-0,29	1,00	15,02	0,03	22,79
Син 203.15	0,82–1,03	-0,21	0,92	12,05	0,01	36,78

При выращивании на сухое вещество наибольшей стрессоустойчивостью отметился образец Син 124 (-0,10 кг/м²), остальные были на уровне стандарта или превосходили его.

Генетическая гибкость, или средняя урожайность в стрессовой и не стрессовой ситуации, изучаемых образцов была в пределах 0,88–1,23 кг/м². При показателе у стандарта 0,88 кг/м² практически все изучаемые образцы с показателями 0,88–1,23 кг/м² были на уровне или превосходили стандарт, кроме образца Син 28, генетическая гибкость которого составила 0,77 кг/м². Наиболее низкий показатель стабильности был у образцов Син 124, Син 135 и Син 1.15, а самый высокий – у образца Син 132.

Гомеостатичность как свойство оценки устойчивости к сезонным изменениям погодных условий является важным признаком для Ростовской области, так как здесь нередко проявляются сезонные изменения условий среды в виде увеличения температур воздуха при недостатке увлажнения. Высокой гомеостатичностью выделялись образцы Син 125, Син 124, Син 131, Син 135, Син 1.15 с показателями 43,38–84,60, эти образцы более устойчивы к сезонным изменениям условий (гомеостатичность стандарта составляла 32,26).

В среднем за годы исследований практически все изучаемые образцы, за исключением Син 31, Син 125 и Син 126, формировали достоверно большую урожайность семян, чем стандартный сорт Велес (123,7 г/м²) (табл. 3).

Таблица 3. Влияние условий выращивания на урожайность семян образцов эспарцета, 2020–2022 гг.
Table 3. Effect of growing conditions on seed productivity of sainfoin samples, 2020–2022

Сорт	Средняя урожайность, г/м ²			$\sum Y_i$	Y_i	b_i
	2019	2020	2021			
Велес, ст.	127	121	123	371	123,7	0,16
Син 26	195	136	129	460	153,3	1,75
Син 28	182	141	133	456	152,0	1,23
Син 31	193	129	109	431	143,7	1,96
Син 38	173	139	153	465	155,0	0,91
Син 40	199	137	141	477	159,0	1,78
Син 125	172	127	136	435	145,0	1,25
Син 124	192	152	145	489	163,0	1,19
Син 126	151	148	136	435	145,0	0,15
Син 127	198	176	184	558	186,0	0,59
Син 131	192	147	181	520	173,3	1,12
Син 132	193	143	141	477	159,0	1,45
Син 135	190	129	147	466	155,3	1,67
Син 141	181	128	142	451	150,3	1,46
Син 142	199	162	192	553	184,3	0,91
Син 149	161	159	181	501	167,0	0,11
Син 146	151	142	190	483	161,0	0,71
Син 147	196	138	153	487	162,3	1,60

Продолжение табл. 3

Сорт	Средняя урожайность, г/м ²			ΣY_i	Y_i	b_i
	2019	2020	2021			
Син 102.15	189	145	163	497	165,7	1,18
Син 103.15	169	156	156	481	160,3	1,11
Син 111.15	179	141	167	487	162,3	0,96
Син 1.15	194	149	173	516	172,0	1,18
Син 2.15	166	136	187	489	163,0	0,98
Син 9.15	157	145	185	487	162,3	0,14
Син 200.15	194	141	157	492	164,0	1,45
Син 203.15	183	152	151	486	162,0	0,90
HCP ₀₅	20,5	14,1	24,8	—	21,4	—
ΣY_i	4676	3719	4055	12450	—	—
Y_i	179,85	143,04	155,96	—	159,62	—
Y_i	+20,24	-16,58	-3,66	—	—	—

Наибольшая урожайность семян зафиксирована у образцов Син 127 (186,0 г/м²) и Син 142 (184,3 г/м²), эти же образцы формировали высокую урожайность в каждый из трех лет исследований при невысоком коэффициенте вариации (5,99 и 11,41 соответственно).

Коэффициент регрессии по признаку «урожайность семян» у стандарта и образцов Син 126, Син 149, Син 9.15 был низким (0,11–0,16), что говорит о слабой реакции на изме-

нения условий среды. Самыми высокими показателями b_i отметились образцы Син 26 (1,75), Син 31 (1,96) и Син 40 (1,78), эти образцы могут стать источниками для создания сортов интенсивного типа возделывания. Наличия $b_i = 1,00$ по признаку «урожайность семян» в изучаемом питомнике отмечено не было.

Наиболее стрессоустойчивым оказался стандартный сорт Велес (-6,0 г/м²) (табл. 4).

Таблица 4. Параметры адаптивности образцов эспарцета по признаку «урожайность семян», 2020–2022 гг.

Table 4. Adaptability parameters of sainfoin samples according to the trait “seed productivity”, 2020–2022

Сорт	Размах варьирования, г/м ²	Стрессоустойчивость, Y_{min} – Y_{max} , г/м ²	Генетическая гибкость, $(Y_{min}+Y_{max})/2$	CV, %	Коэффициент стабильности, σ^2	НОМ
Велес, ст.	121–127	-6,0	124,0	2,11	0,01	82,53
Син 26	129–195	-66,0	162,0	23,65	497,32	59,16
Син 28	133–182	-49,0	157,5	18,29	326,59	17,94
Син 31	109–193	-84,0	151,0	30,53	1168,84	5,60
Син 38	139–173	-34,0	156,0	11,19	2,77	40,25
Син 40	137–199	-62,0	168,0	21,82	212,74	11,75
Син 125	127–172	-45,0	149,5	16,42	30,01	19,62
Син 124	145–192	-47,0	168,5	15,59	281,14	22,24
Син 126	136–151	-15,0	143,5	5,47	110,25	176,53
Син 127	176–198	-22,0	187,0	5,99	0,08	147,16
Син 131	147–191	-44,0	169,0	13,54	218,03	29,10
Син 132	141–193	-52,0	167,0	18,53	247,01	16,50
Син 135	129–190	-61,0	159,5	20,18	7,53	12,61
Син 141	128–181	-53,0	154,5	18,15	13,73	156,29
Син 142	162–199	-37,0	180,5	11,41	187,54	43,65
Син 149	159–181	-22,0	170,0	7,28	313,11	104,25
Син 146	142–190	-48,0	166,0	15,85	1644,23	21,16
Син 147	138–196	-58,0	167,0	18,55	18,66	15,08
Син 102.15	145–189	-44,0	167,0	13,35	4,92	28,22
Син 103.15	156–169	-13,0	162,5	4,47	388,03	276,06
Син 111.15	141–179	-38,0	160,0	11,97	103,84	35,69
Син 1.15	149–194	-45,0	171,5	13,09	43,62	29,30
Син 2.15	136–187	-51,0	161,5	15,73	1109,65	20,32
Син 9.15	145–185	-40,0	165,0	12,65	817,36	32,12
Син 200.15	141–194	-53,0	167,5	16,57	4,37	18,67
Син 203.15	151–183	-32,0	167,0	11,23	91,43	42,73

Стрессоустойчивость изучаемых образцов варьировала от -13 г/м² у Син 103.15 до -84 г/м²

у Син 31, низкая стрессоустойчивость также отмечена у высокопластичных образцов Син 26

(-66 г/м²) и Син 40 (-62 г/м²). Генетическая гибкость всех изучаемых образцов была выше, чем у стандарта (124,0 г/м²). Наибольшие показатели были у образцов Син 127 (187,0 г/м²), Син 142 (180,5 г/м²) и Син 1.15 (171,5 г/м²). Коэффициент стабильности изучаемых образцов по признаку «урожайность семян» варьировал в очень широких пределах. Практически все изучаемые образцы были стабильнее стандартного сорта Велес, коэффициент которого составлял 0,01, наибольшими показателями выделились Син 31 (1168,84), Син 146 (1644,23) и Син 2.15 (1109,65).

Гомеостатичность образцов изучаемого питомника варьировала от 5,60 до 276,06 при показателе 82,53 у стандартного сорта Велес. Образцы Син 126, Син 127, Син 141 и Син 103.15 с гомеостатичностью 147,16–276,06 являются самыми устойчивыми к сезонным изменениям условий среды при возделывании на семена.

Выводы. Таким образом, проведенная оценка коллекционных образцов эспарцевта на наличие у них адаптивных свойств позволила выделить образцы, представляющие

интерес для селекции. При возделывании на сухую массу высокими урожайностью и гомеостатичностью, а также не уступающим стандарту по другим изучаемым показателям выделился образец Син 1.15, который является высокопластичным ($bi = 1,68$). Этот образец может стать источником для создания сортов интенсивного типа возделывания. Также интерес представляют образцы, которые меньше реагируют на изменения условий среды (это Син 31, Син 124 и Син 2.15 ($bi - 0.21-0.53$)), для использования их в качестве исходного материала. При возделывании на семена также представляют интерес образцы с меньшим коэффициентом регрессии, менее отзывчивые на изменения окружающей среды, со стабильной семенной продуктивностью. Это образцы Син 9.15 и Син 149, которые отметились и высокими гомеостатичностью и генетической гибкостью. Выделившиеся образцы будут использованы в качестве исходного материала.

Финансирование. Государственное задание по теме 0505-2025-0010 – ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Библиографический список

1. Антонов С.А., Перегудов С.В., Волошенкова Т.В. Оценка состояния государственной защитной лесной полосы на территории Ставропольского края // Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 4(17). С. 14–23. DOI: 10.48612/FARC/2687-1254/002.4.17.2024
2. Засыпкина И.М., Донцова А.А. Результаты изучения параметров адаптивности озимого ячменя по предшественникам // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 48–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-48-54
3. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Адаптивность селекционных линий твердой пшеницы из Италии в условиях Среднего Поволжья // Достижения науки и техники в АПК. 2021. Т. 35, № 3. С. 28–32 DOI:10.24411/0235-2451-2021-10305
4. Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г., Шаболкина Е.Н., Пронович Л.В. Дифференцирующая способность условий среды и оценка сортов яровой пшеницы твердой по числу падения // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 67–74. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-67-74
5. Павлова В.Н., Каланка П., Каракенкова А.А. Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 78–94.
6. Радченко Л.А., Радченко А.Ф., Донцова А.А., Филиппов Е.Г., Ганоцкая Т.Л. Продуктивность и устойчивость к неблагоприятным факторам среды сортов-двуручек ячменя при посеве в осенний и весенний сроки // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5 (71). С. 15–20. DOI: 10.31367/2079-8725- 2020-71-5-15-20
7. Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Стressоустойчивость сортов ячменя различного экологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. № 18 (4). С. 44–55. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-44-55>
8. Vasileva V., Naydenova Y., Stoycheva I. Nutritive value of forage biomass from sainfoin mixtures // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26, Iss. 5. P. 942–949 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.012>

References

1. Antonov S.A., Peregudov S.V., Voloshenkova T.V. Otsenka sostoyaniya gosudarstvennoi zashchitnoi lesnoi polosy na territorii Stavropol'skogo kraya [Estimation of the state protective forest belt in the Stavropol Territory] // Sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2024. № 4(17). S. 14–23. DOI: 48612/FARC/2687-1254/002.4.17.2024
2. Zasypkina I.M., Dontsova A.A. Rezul'taty izucheniya parametrov adaptivnosti ozimogo yachmenya po predshestvennikam [Study results of winter barley adaptability parameters according to forecrops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 1. S. 48–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-48-54
3. Mal'chikov P.N., Myasnikova M.G. Adaptivnost' selektsionnykh linii tverdoi pshenitsy iz Italii v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Adaptability of breeding lines of Italian durum wheat to the conditions of the Middle Volga region] // Dostizheniya nauki i tekhniki v APK. 2021. T. 35, № 3. S. 28–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10305
4. Mal'chikov P.N., Myasnikova M.G., Shabolkina E.N., Pronovich L.V. Differentsirushchaya sposobnost' uslovii sredy i otsenka sortov yarvoi pshenitsy tverdoi po chislupadeniyu [Differentiating ability of environmental conditions and estimation of spring durum wheat varieties

according to 'falling number'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. Т. 16, № 4. S. 67–74. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-67-74

5. Pavlova V.N., Kalanka P., Karachenkova A.A. Produktivnost' zernovykh kul'tur na territorii Evropeiskoi Rossii pri izmenenii klimata za poslednie desyatiletiiya [Productivity of grain crops on the territory of European Russia under climate change in recent decades]// Meteorologiya i gidrologiya. 2020. № 1. S. 78–94.

6. Radchenko L.A., Radchenko A.F., Dontsova A.A., Filippov E.G., Ganotskaya T.L. Produktivnost' i ustoychivost' k neblagopriyatnym faktoram sredy sortov-dvuruchek yachmenya pri poseve v osennii i vesennii sroki [Productivity and tolerance to adverse environmental factors of facultative barley varieties sown in the autumn and spring] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 5(71). S. 15–20. DOI: 10.31367/2079-8725- 2020-71-5-15-20.

7. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya.B., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Stressoustoichivost' sortov yachmenya razlichnogo ekologicheskogo proiskhozhdeniya dlya uslovii rezko kontinental'nogo klimata [Stress tolerance of barley varieties of different ecological origin in conditions of a sharply continental climate]// Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. № 18(4). S. 44-55. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-44-55>

8. Vasileva V., Naydenova Y., Stoycheva I. Nutritive value of forage biomass from sainfoin mixtures // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26, Iss. 5. P. 942–949 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.012>

Поступила: 31.10 .25; доработана после рецензирования: 21.11.25; принята к публикации: 21.11.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Регидин А.А. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Горюнов К.Н – анализ данных и их интерпретация, проведение полевого опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСЛЕРЕГИСТРАЦИОННОГО ИСПЫТАНИЯ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА «СЛАВЯНОСЕРБСКОЙ СОРТОИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ» ФИЛИАЛА ФГБОУ ВО ЛГАУ В УСЛОВИЯХ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

В.Н. Гелюх¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой селекции и защиты растений, vladgel1@rambler.ru, ORCID ID: 0009-0001-6335-1583;

Д.М. Марченко^{2,3}, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

С.В. Подгорный², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа, podgornyy128@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-8438-1327;

М.М. Иванисов², кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

А.С. Садовой¹, ассистент кафедры селекции и защиты растений, sadovoialek@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Луганский государственный аграрный университет имени К.Е. Ворошилова», 291018, Луганская Народная Республика, г. Луганск, г.о. Луганский, р-н Артемовский, тер. ЛНАУ, д. 1; e-mail: vladgel1@rambler.ru;

²ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

³ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», 344003, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; e-mail: reception@donstu.ru

Основной продовольственной культурой РФ является озимая пшеница, однако в последние десятилетия резко увеличилось проявление экстремальных погодных факторов, что обострило проблему климатической зависимости величины и качества урожая озимой мягкой пшеницы. В таких условиях возникает необходимость в правильном подборе сортов. Цель исследований – выявить в послерегистрационном сортоиспытании урожайные, с исключительно высокой адаптивностью, устойчивые к изменениям агроклиматических условий сорта озимой пшеницы, различные по эколого-географическому происхождению, для дальнейшего внедрения в производство, оценить их доходность и рентабельность производства. Исследованиями, проведенными в послерегистрационном испытании сортов озимой пшеницы на «Славяносербской сортоиспытательной станции» филиала ФГБОУ ВО ЛГАУ в 2023–2025 гг., установлено, что наиболее урожайными были сорта ФГБНУ «АНЦ «Донской» при средней урожайности за годы исследований 2,98 т/га – Шеф, Жаворонок, Лилит, Юбилей Дона, Донская юбилейная. Средняя урожайность сортов Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко составила 2,84 т/га, перспективные сорта – Алексеич, Безостая 100. Производственный интерес представляют сорта селекции ФГБНУ ФРАНЦ – Губернатор Дона, Тарасовская 70. Сорта селекции компании «ЭкоНива-Семена», несмотря на среднюю высокую урожайность в 2024 г. (29,8 т/га), за годы исследований показали урожайность 2,55 т/га. Расчет экономической эффективности показал, что самый высокий чистый доход (17650 руб.) с 1 га и рентабельность (68,5 %) при производстве озимой пшеницы в условиях Луганской Народной Республики зарегистрированы у сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, сорт, сортоиспытательная станция, после регистрационное сортоиспытание, урожайность.

Для цитирования: Гелюх В.Н., Марченко Д.М., Подгорный С.В., Иванисов М.М., Садовой А.С. Результаты после регистрационного испытания сортов озимой пшеницы на «Славяносербской сортоиспытательной станции» филиала ФГБОУ ВО ЛГАУ в условиях Луганской Народной Республики // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 1., № 6. С. 63–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-63-69.



RESULTS OF POST-MARKETING TESTING OF WINTER SOFT WHEAT VARIETIES AT THE VARIETAL TESTING STATION OF THE SLAVYANOSERBSKAYA VARIETAL TESTING STATION OF THE LSAU BRANCH IN THE CONDITIONS OF THE LUGANSK PEOPLE'S REPUBLIC

V.N. Gelyukh¹, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor, head of the plant breeding and protection department, vladgel1@rambler.ru, ORCID ID: 0009-0001-6335-1583;

D.M. Marchenko^{2,3}, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

S.V. Podgorny², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for the breeding and seed production of winter common wheat of intensive type, podgorny128@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-8438-1327;

M.M. Ivanisov², Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

A.S. Sadovoy¹, assistant of the plant breeding and protection department, sadovoialek@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-9438-8979

¹FSBEI HE "Lugansk State Agrarian University named after K.E. Voroshilov", 291008, Lugansk People's Republic, Lugansk, t. of Lugansky, Artemovsky district, gor. LGAU, Buil. 1; e-mail: vladgel1@rambler.ru;

²FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru;

³FSBEI HE "Donskoy State Technical University", 344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 2; email: reception@donstu.ru

Winter wheat is the main food crop in the Russian Federation. However, extreme weather conditions have increased dramatically in recent decades, exacerbating the dependence of the size and quality of winter common wheat productivity on weather. There is a need for the proper selection of varieties in these conditions. The purpose of the current study was to identify, through post-registration variety testing, winter wheat varieties of different ecological and geographical origins with large productivity, adaptability, and resistance to agro-ecological changes to introduce into production, and to evaluate their profitability and production benefits. The study of winter wheat varieties during post-registration testing at the Slavyanoserbsk Variety Testing Station of the branch of the FSBEI HE LSAU in the Lugansk People's Republic in 2023–2025 has established that the most productive varieties were 'Shef', 'Zhavoronok', 'Lilit', 'Yubilej Dona', 'Donskaya Yubileinaya' developed in the FSBSI "ARC "Donskoy", with average productivity of 2.98 t/ha over the years of study. The average productivity of the varieties developed at the National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko was 2.84 t/ha, with promising varieties 'Alekseich' and 'Bezostaya 100'. The varieties 'Gubernator Dona' and 'Tarasovskaya 70' developed at the FSBSI FRASC are of production interest. Despite the large average productivity in 2024 (29.8 t/ha), the varieties developed at "EkoNiva-Semena" have shown 2.55 t/ha over the years of study. The calculation of economic efficiency has shown that the highest net income (RUB 17,650) per 1 hectare and profitability (68.5 %) of winter wheat production in the Luhansk People's Republic were registered for the varieties developed by the FSBSI "ARC "Donskoy".

Keywords: winter common wheat, variety, variety testing station, post-registration variety testing, productivity.

Введение. В нестабильной по метеорологическим факторам степной зоне Донбасса озимая мягкая пшеница является основной сельскохозяйственной культурой, обладающей наиболее высоким и стабильным урожаем среди всех зерновых культур (Захарова и др., 2020). Засушливый климат и относительно плодородные черноземы дают возможность получать зерно с высокими хлебопекарными качествами (Белкина и др., 2021; Гончаров и Косолапов, 2021). Учитывая специфику региона, важно выявлять не только сорта с высоким потенциалом урожайности, но и те, которые могут успешно противостоять неблагоприятным метеорологическим факторам, таким как засуха, высокие температуры, неравномерные осадки (Барановский и Курдюкова, 2021; Журавлева и Фурсов, 2016; Кузенко, 2021). Это обусловлено в первую очередь отсутствием сортов с достаточной экологической пластичностью, которые могли бы раскрыть свой потенциал не только на повышенном агрономе и не снижать его резко в экстремальных условиях (Самохвалов и др., 2023). Одним из самых дешевых, надежных и доступных способов повышения урожайности озимой пшеницы с высокими продовольственными качествами зерна являются выявление, внедрение и использование в производстве новых высокопродуктивных сортов с хорошими адаптивными свойствами (Демина, 2020). Государственный реестр Российской Федерации насчитывает более 370 сортов озимой мягкой пшеницы, допущенных к использованию. Столь обширный список имеет положительные стороны, так как позволяет выбрать

оптимальные сорта для различных почво-климатических регионов, однако есть и существенные недостатки при проявляющейся тенденции потепления климата и нарастания его аридности. Возникает острая необходимость в научном послерегистрационном изучении на территории Луганской Народной Республики для дальнейшего внедрения в производство сортов озимой пшеницы, обладающих исключительно высокой адаптивностью к изменению агроклиматических условий. Послерегистрационные сортоиспытания помогут не только глубже и всесторонне исследовать представленный сортимент в конкретных агроклиматических зонах, но и способствовать организации научно обоснованной сортосмены и сортообновления сортов, которые находятся в обороте у товаропроизводителей, определить сорта, по которым целесообразно вести промышленное семеноводство. Вопрос повышения урожайности озимой пшеницы требует комплексного подхода, включая селекцию устойчивых сортов, адаптацию агрономических технологий и постоянный мониторинг метеорологических условий (Анисов, 2015). В этой связи послерегистрационное сортоиспытание должно играть решающую роль в вопросах пригодности сорта для конкретных регионов, где он может обеспечить максимальную урожайность, иметь наибольшую хозяйственную ценность, экономическую целесообразность выращивания, устанавливать ареалы его распространения и объемы выращивания семян.

Цель исследований – выявление в после регистрационном сортоизучении урожай-

ных, с исключительно высокой адаптивностью и устойчивых к изменениям агроэкологических условий сортов озимой пшеницы различных по происхождению, для дальнейшего внедрения в производство Луганской Народной Республики, оценить доходность и рентабельность производства.

Материалы и методы исследований.

Исследования по изучению в после регистрационном сортоиспытании сортов озимой пшеницы проводили в 2023–2025 гг. на Славяносербской сортоиспытательной станции – филиале ФГБОУ ВО ЛГАУ согласно Методике государственного испытания сельскохозяйственных культур (1985). Станция расположена в юго-восточной части Луганской Народной Республики и характеризуется в целом резко континентальным климатом с жарким сухим летом и малоснежной с оттепелями зимой. Основные почвообразующие породы представлены лессовидными суглинками тяжелого суглинкового глинистого механического состава. Агротехника общепринятая для озимой пшеницы в степной зоне. В качестве объекта исследований использовались зарегистрированные сорта озимой мягкой пшеницы различных селекционных учреждений. Предшественник черный пар, норма высева 4,5 млн всхожих семян/га. Семена высевали сеялкой СН-16, площадь учетной делянки 100 м². Урожай проводили прямым комбайнированием комбайном «Сампо-500». Статистический анализ результатов исследований осуществляли методом дисперсионного анализа по методике Б.А. Доспехова (2014). В годы исследований (2023–2025) агрометеорологические условия в сравнении со среднемноголетними показателями резко отличались своей контрастностью. В процессе вегетации озимой пшеницы наблюдались продолжительные периоды без осадков. Распределялись они в течение года неравномерно, бездождевые периоды достигали 25–40 и больше дней. Среднегодовое количество осадков – 528 мм. Высокие температуры (35–39 °C) при низкой относительной влажности воздуха нередко обуславливают засуху – преимущественно в второй половине лета, а в последние годы и весной, четыре года из десяти бывают засушливыми весной, летом или осенью, поэтому всходы получать проблематично. Это все негативно повлияло на формирование высокопродуктивных посевов озимых культур, значительно снизило уровень показателей структуры урожая – наблюдалась щуплость семян – и в целом семенной продуктивности. Возвратные заморозки (-3–8 °C) приводили к значительным повреждениям растений, а иногда и гибели части посевов озимых культур. Погодные условия в годы исследований значительно различались по гидротермическому режиму в период вегетации, что позволило лучше изучить достоинства и недостатки сортов. Уровень ГТК в среднем за годы исследований (2023–2025) составил 1,27; 0,24 и 0,64 соответственно.

Результаты и их обсуждение. Сорта, включенные в Государственный реестр сортов и гибридов, допущенных к использованию, не всегда и не в полной мере могут удовлетворить товаропроизводителей в вопросах их отбора для конкретных почвенно-климатических зон и регионов. В них не отражена реакция новых сортов на конкретные условия выращивания, уровни агрофонов, неблагоприятные и стрессы факторы среды, упущения в агротехнике, не освещается экономическая целесообразность выращивания сортов при различных уровнях ресурсного обеспечения. В исследования входило детальное изучение сортов селекции ведущих селекцентров, их хозяйствственно-биологических признаков и свойств, нестабильности в изменяющихся погодных условиях, при этом особое внимание уделялось признакам и свойствам, которые не удалось изучить в конкурсном сортоиспытании.

За годы исследований в изучении было 116 сортов селекции селекционных учреждений: ФГБНУ «АНЦ «Донской» – 62 сорта, ФГБНУ ФРАНЦ – 24 сорта, «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко» – 18 сортов, ООО «ЭкоНива-Семена» – 12 сортов (рис. 1).

Все изучаемые сорта согласно описаниям оригинаров хозяйствственно-биологических признаков и свойств характеризуются высоким генетическим потенциалом (более 10 т/га), улучшенными морфобиологическими свойствами, широкой реакцией на условия выращивания. Они являются сильными или ценными по качеству, в основном имеют более короткую и толстую соломину, что обуславливает высокую устойчивость к полеганию и способность усваивать повышенные дозы удобрений.

Сорта такого типа в полной мере реализуют генетический потенциал продуктивности при создании уникальных условий роста и развития после идеальных предшественников. Их целесообразно выращивать только по интенсивным технологиям в условиях высокой культуры земледелия и строгом соблюдении всех элементов новейших агротехнологий. Однако при размещении высокointенсивных сортов после худших предшественников, а в Луганской Народной Республике соотношение посевных площадей под озимыми культурами и подсолнечником составляет практически 1:1, недостаточном обеспечении ресурсами, нарушениях агротехники они не только не имеют преимуществ, но и могут резко снижать продуктивность в большей степени, чем другие типы сортов. Установлено, что сорта селекционных учреждений из различных эколого-географических регионов значительно отличались от заявленных характеристик в нашем регионе по реакции на изменения условий внешней среды и по основным хозяйственным ценным признакам и свойствам, особенно по урожайности как комплексному показателю адаптации сорта к различным условиям выращивания (рис. 2).

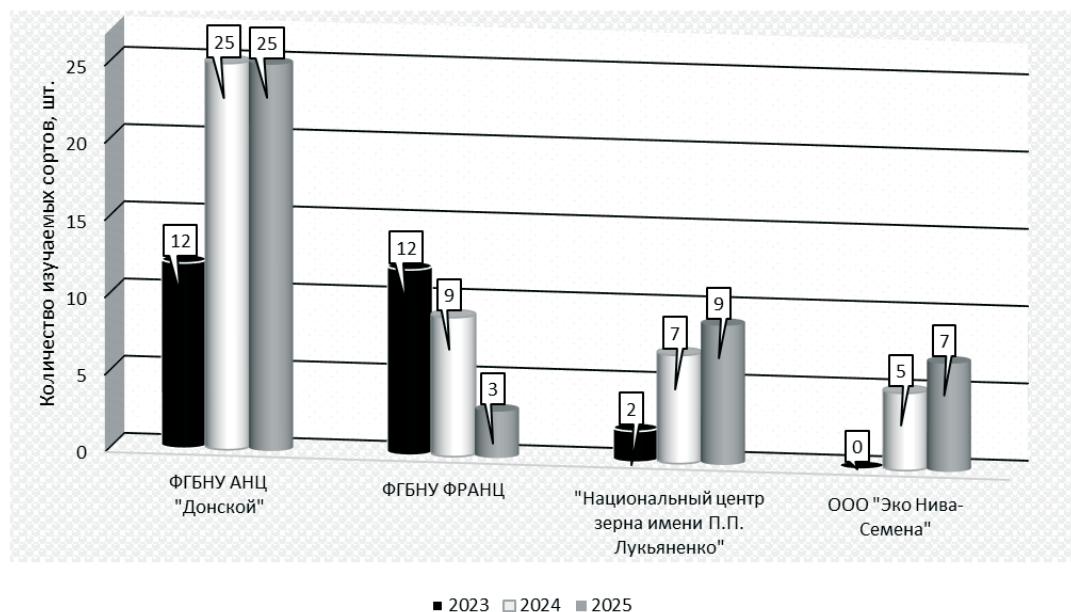


Рис. 1. Количество изучаемых сортов озимой мягкой пшеницы в посторегистрационном сортоиспытании филиала ФГБОУ ВО ЛГАУ «Славяносербская сортоиспытательная станция» (2023–2025 гг.)

Fig. 1. The number of winter common wheat varieties tested in post-registration variety testing of the branch of the FSBEI HE LSAU "Slavyanoserbsk variety testing station" (2023–2025)

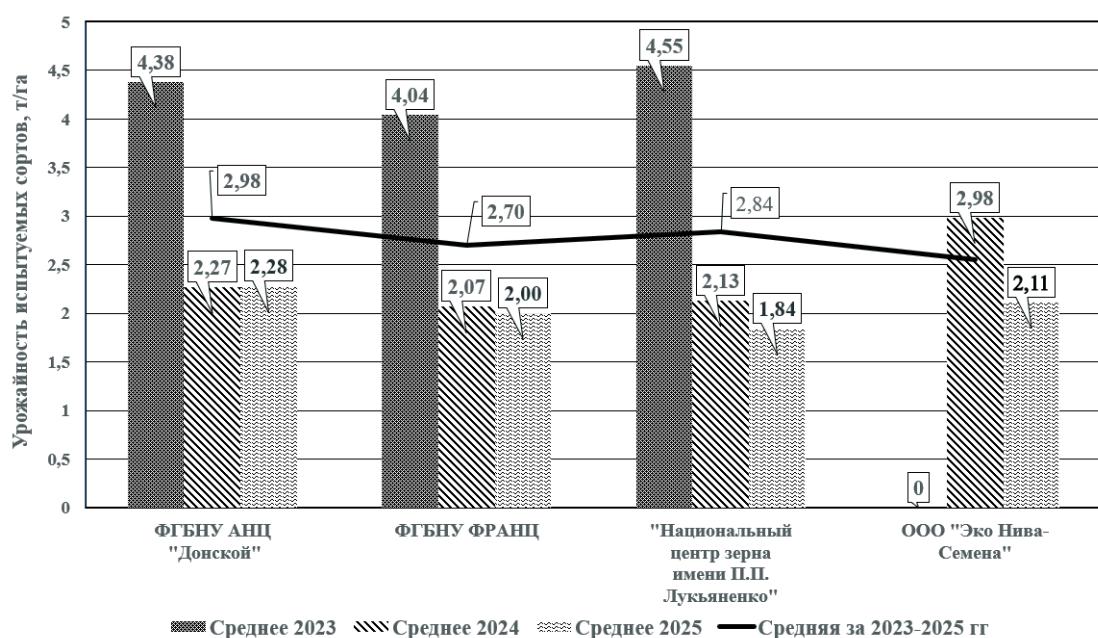


Рис. 2. Урожайность испытуемых сортов озимой мягкой пшеницы в посторегистрационном сортоиспытании филиала ФГБОУ ВО ЛГАУ «Славяносербская сортоиспытательная станция» (2023–2025 гг.)

Fig. 2. Productivity of winter common wheat varieties tested in postregistration variety testing of the branch of the FSBEI HE LSAU "Slavyanoserbsk variety testing station" (2023–2025)

За годы исследований (2023–2025) наиболее высокая средняя урожайность была зарегистрирована у сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» – 2,98 т/га, несколько ниже у ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко» – 2,84 т/га, ФГБНУ ФРАНЦ – 2,70 т/га, ООО «ЭкоНива-Семена» – 2,55 т/га.

В благоприятном 2023 г. (ГТК 1,27) средняя урожайность сортов озимой пшеницы в посторегистрационном сортоиспытании варьировала от 4,55 до 4,04 т/га. В 2024–2025 гг. рост и развитие озимой пшеницы проходили в крайне

засушливых условиях, ГТК составил в среднем за два года 0,44 (природная зона полупустыни).

К тому же большую негативную роль сыграли майские возвратные заморозки (-3,0–8,0 °C), повлекшие за собой не только значительное снижение урожайности (51,2 %), но и потери посевов. В 2024 г. при весенних запасах продуктивной влаги 122 мм и ГТК за период вегетации 0,24 средняя урожайность испытуемых сортов была на уровне 2,36 т/га. Наиболее высокая урожайность зарегистрирована у сортов ООО «ЭкоНива-Семена» – 2,98 т/га

и ФГБНУ «АНЦ «Донской» – 2,27 т/га, несколько ниже – у сортов Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко – 2,13 т/га и ФГБНУ ФРАНЦ – 2,07 т/га.

В 2025 г. при очень низких запасах весеннеей продуктивной влаги (75 мм и ГТК 0,64) за период вегетации средняя урожайность изучаемых сортов в послерегистрационном сортоиспытании была еще ниже, чем в 2024 г., и составила 2,06 т/га. В экстремальных погодных условиях лидирующее место по урожайности заняли сорта АНЦ «Донской» – 2,28 т/га, ООО «ЭкоНива-Семена» – 2,11 т/га,

ФГБНУ ФРАНЦ – 2,0 т/га и Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко – 1,84 т/га.

В таблице 1 отражена хозяйствственно-биологическая характеристика лучших по урожайности сортов озимой пшеницы, выделившихся по результатам исследований в послерегистрационном сортоиспытании в 2023–2025 годах. Наиболее высокая урожайность за годы исследований была зарегистрирована у сортов селекции АНЦ «Донской»: Шеф, Жаворонок, Лилит – 3,57; 3,30 и 3,20 т/га соответственно. Несколько ниже у сорта Губернатор Дона селекции ФГБНУ ФРАНЦ – 3,03 т/га.

Таблица 1. Хозяйственно-биологическая характеристика лучших сортов озимой пшеницы, выделившихся по результатам исследований в послерегистрационном сортоиспытании (2023–2025 гг.)

Table 1. Economic and biological characteristics of the best identified winter wheat varieties according to the study results in post-registration variety testing (2023–2025)

Название сорта	Урожайность, т/га	Перезимовка растений, балл	Показатели			Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г	Дней к созреванию			
			Устойчивость (балл) к								
			полеганию	осыпанию	засухе						
ФГБНУ «АНЦ «Донской»											
Шеф	3,57	9	9	9	9	64	41	251			
Жаворонок	3,30	9	9	9	9	64	40	246			
Лилит	3,20	9	9	9	9	65	38	251			
Юбилей Дона	2,95	9	9	9	9	69	34	251			
Донская юбилейная	2,90	9	9	9	7	62	37	251			
Акрос	2,85	9	9	9	9	68	32	262			
Лидия	2,83	9	9	9	9	59	34	251			
Аксинья	2,80	9	9	9	7	67	34	246			
Ермак	2,67	9	9	9	7	60	39	251			
Зерноградка 11	2,60	9	9	9	7	60	35	251			
Раздолье	2,55	9	9	9	9	57	38	258			
Разгуляй	2,55	9	9	9	9	63	36	258			
ФГБНУ ФРАНЦ											
Губернатор Дона	3,03	9	9	9	9	64	37	247			
Тарасовская 70	2,80	9	9	9	7	73	35	253			
Боярыня	2,57	9	9	9	7	62	33	251			
Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко											
Алексеич	3,13	9	9	9	9	69	39	253			
Безостая 100	3,07	9	9	9	9	62	40	255			
Школа	2,50	9	9	9	9	65	40	249			
ООО «ЭкоНива-Семена»											
Цефей	2,65	9	9	9	9	69	36	250			
Тайгета	2,60	9	9	9	9	67	38	248			
Фотон	2,55	9	9	9	9	62	38	251			
Альбарео	2,55	9	9	9	9	64	38	250			
НСР ₀₅	1,15										

Высокой урожайностью выделились сорта селекции Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко Алексеич и Безостая 100 – 3,13 и 3,07 т/га соответственно. Сорта озимой пшеницы селекции компании «ЭкоНива-Семена» за годы исследований имели более низкую урожайность. Характеризуя показатели перезимовки, устойчивости к полеганию, осыпанию семян, мучнистой росе, бурой ржав-

чине, корневым гнилям, фузариозу, шведской мухе, вредному клопу-черепашке, можно отметить, что их уровень составил 9 баллов. Более низкой устойчивостью к засухе характеризовались сорта Донская юбилейная, Аксинья, Ермак, Зерноградка 11, Тарасовская 70, Боярыня – 7 баллов. Масса 1000 семян – показатель крупности и выполненности семян, выраженный в граммах. У тяжелых выполненных

семян выше энергия прорастания, а у растений более мощная корневая система. Жесткая засуха, условия увлажнения в период с апреля по июль были сравнимы с природными зонами полупустыни и не позволили изучаемым сортам озимой пшеницы сформировать достаточный уровень массы семян. Размах варьирования массы 1000 семян составил в опыте от 32 до 41 г. Более высокая масса 1000 семян отмечена у сортов Шеф, Жаворонок, Лилит, Ермак, Раздолье, Алексеич, Безостая 100, Школа, Тайгетта, Фотон, Альбарео.

Главной целью функционирования современных производственных предприятий любой формы собственности является получение прибыли от хозяйственной деятельности. Поэтому экономическая оценка эффективности внедрения новых сортов – важный этап науч-

ной и практической работы, поскольку именно она определяет целесообразность дальнейшего внедрения в производство того или иного селекционного достижения. Для проведения оценки экономической эффективности производства перспективных сортов были разработаны технологические карты выращивания пшеницы озимой в соответствии с современными отраслевыми нормами и нормативами.

В наших исследованиях использованы такие показатели, как производственные затраты на 1 га, себестоимость производства продукции, чистый доход, уровень рентабельности. Средняя реализационная цена за 1 т зерна озимой пшеницы в 2025 г. составляет 14 500 руб. Показатели экономической эффективности представлены в таблице 2.

Таблица 2. Экономическая эффективность возделывания сортов озимой пшеницы различных селекционных учреждений по данным «Славяносербской сортиспытательной станции – филиала ФГБОУ ВО ЛГАУ» (2023–2025 гг.)
Table 2. Economic efficiency of cultivation of winter wheat varieties of various breeding institutions according to the data of the Slavyanoserbsk Variety Testing Station – the branch of the FSBEI HE LSAU (2023–2025)

Показатели	Селекционные учреждения			
	АНЦ «Донской»	Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко	ФГБНУ ФРАНЦ	ООО «ЭкоНива-Семена»
Урожай семян с 1 га, т	2,98	2,84	2,70	2,55
Стоимость урожая с 1 га, руб.	43210	41180	39150	36975
Производственные затраты на 1 га, руб.	25650	25270	24810	24400
Себестоимость 1 т зерна, руб.	8607	8897	9188	9584
Чистый доход с 1 га, руб.	17650	15910	14340	12575
Уровень рентабельности, %	68,5	63,0	57,8	51,5

Анализ экономической эффективности возделывания сортов озимой пшеницы селекционных учреждений, расположенных в различных экологических регионах, выявил отличия в экономических показателях. Самый высокий чистый доход (17 650 руб.) с 1 га и рентабельность (68,5 %) при производстве озимой пшеницы в условиях Луганской Народной Республики зарегистрированы у сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Высокий уровень чистого дохода и рентабельности определяется высокой урожайностью и практически одинаковой величиной производственных затрат.

Выводы. По комплексу хозяйствственно ценных признаков и свойств в Луганской Народной Республике в послерегистрационном сортиспытании (2023–2025 гг.) выделены перспективные сорта озимой пшеницы, представляющие большой интерес для дальнейшего размножения и ведения первичного и элит-

ного семеноводства: Шеф, Жаворонок, Лилит, Юбилей Дона, Донская юбилейная – селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»; Губернатор Дона, Тарасовская 70 – ФГБНУ ФРАНЦ; Алексеич, Безостая 100 – Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко. Сорта селекции ООО «ЭкоНива-Семена», несмотря на высокую среднюю урожайность в 2024 г., за годы исследований показали урожайность ниже своих конкурентов. Расчет экономической эффективности показал, что самый высокий чистый доход (17 650 руб.) с 1 га и рентабельность (68,5 %) при производстве озимой пшеницы в условиях Луганской Народной Республики зарегистрированы у сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Финансирование. Работа выполнена за счет средств НИР. Номера государственного задания №124062500033-8 и 0505-2025-0006

Библиографический список

1. Анисов А.Н. В центре внимания – вопросы семеноводства // Защита и карантин растений. 2015. № 1. С. 11–14.
2. Барановский А.В., Курдюкова О.Н. Анализ динамики погодных условий Луганской области за последние 100 лет // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8 (173). С. 54–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8
3. Белкина Р.И., Летяго Ю.А., Ахтариева М.К. Сорт – основа качества зерна пшеницы // Агропродовольственная политика России. 2021. № 3. С. 6–10.

4. Гончаров Н.П., Косолапов В.М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25(4). С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039

5. Демина И.Ф. Урожайность и элементы ее структуры у сортов и линий мягкой яровой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 5(187). С. 5–10.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. С. 351 с.

7. Журавлева Е.В., Фурсов С.В. Засуха как один из факторов риска в экономике растениеводства Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 9. С. 88–90.

8. Захарова Н.Н., Киселев В.В., Зайнутдинов И.М., Кулачкова Д.А. Урожайность озимой мягкой пшеницы на сортоучастках Ульяновской области // В мире научных открытий: Материалы IV Международной студенческой научной конференции, Ульяновск, 20–21 мая 2020 года. Ульяновск: Ульяновский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2020. С. 45–47.

9. Кузенко М.В. Некоторые аспекты продуктивности озимой пшеницы // Новые технологии. 2021. № 17(3). С. 71–76. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-2-71-76>

10. Методика государственного испытания сельскохозяйственных культур // М.А. Федин и др. М.: Колос, 1985. 280 с.

11. Самофалов А.П., Подгорный С.В., Скрипка О.В., Громова С.Н., Чернова В.Л. Изменение урожайности и составляющих ее элементов структуры мягкой озимой пшеницы в зависимости от условий влагообеспеченности и генотипа // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91

References

1. Anisov A.N. V tsentre vnimaniya – voprosy semenovodstva [Focus on seed production] // Zashchita i karantin rastenii. 2015. № 1. С. 11–14.
2. Baranovskii A.V., Kurdyukova O.N. Analiz dinamiki pogodnykh uslovii Luganskoi oblasti za poslednie 100 let [Analysis of weather dynamics in the Lugansk region over the past 100 years] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 8 (173). С. 54–62. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8
3. Belkina R.I., Letyago Yu.A., Akhtarieva M.K. Sort – osnova kachestva zerna pshenitsy [A variety as the basis of wheat grain quality] // Agroprodovol'stvennaya politika Rossii. 2021. № 3. С. 6–10.
4. Goncharov N.P., Kosolapov V.M. Seleksiya rastenii – osnova prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii [Plant breeding as the foundation of food security in Russia] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. Т. 25(4). С. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039
5. Demina I.F. Urozhainost' i elementy ee struktury u sortov i linii myagkoi yarovoii pshenitsy [Yield and its structure elements of spring common wheat varieties and lines] // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 5 (187). С. 5–10.
6. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. Izd. 5-е, pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. С. 351 с.
7. Zhuravleva E.V., Fursov S.V. Zasukha kak odin iz faktorov riska v ekonomike rastenievodstva Rossiiskoi Federatsii [Drought as a risk factor in crop production in the Russian Federation] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. Т. 30, № 9. С. 88–90.
8. Zakharova N.N., Kiselev V.V., Zainutdinov I.M., Kulachkova D.A. Urozhainost' ozimoj myagkoi pshenitsy na sortouchastkakh Ul'yanovskoi oblasti [Productivity of winter common wheat on variety plots in the Ulyanovsk region] // V mire nauchnykh otkrytii: Materialy IV Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii, Ul'yanovsk, 20–21 maya 2020 goda. Ul'yanovsk: Ul'yanovskii GAU im. P.A. Stolypina, 2020. С. 45–47.
9. Kuzenko M.V. Nekotorye aspekty produktivnosti ozimoj pshenitsy [Some aspects of winter wheat productivity] // Novye tekhnologii. 2021. № 17(3). С. 71–76. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-2-71-76>
10. Metodika gosudarstvennogo ispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of Agricultural Crops] // M.A. Fedin i dr. M.: Kolos, 1985. 280 s.
11. Samofalov A.P., Podgornyi S.V., Skripka O.V., Gromova S.N., Chernova V.L. Izmenenie urozhainosti i sostavlyayushchikh ee elementov struktury myagkoi ozimoj pshenitsy v zavisimosti ot usloviy vlagobespechennosti i genotipa [Changes in yield and its structural elements of winter common wheat depending on moisture conditions and a genotype] // Agrarnaya nauka. 2023. № 7. С. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91

Поступила: 08.09.25; доработана после рецензирования: 13.11.25; принята к публикации: 13.01.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гелюх В.Н., Марченко Д.М., Подгорный С.В., Иванисов М.М. – концептуализация исследований, подготовка рукописи, Гелюх В.Н., Садовой А.С. – закладка и выполнение полевых опытов, анализ данных, подготовка данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 577.112.3:577.115.3:582.663:591.61:661.74

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-70-81

БИОАККУМУЛЯЦИЯ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В МИКРОЗЕЛЕНИ ЗЕРНОВОГО АМАРАНТА ПОД ВЛИЯНИЕМ ДОБАВОК ЗООГУМУСА

С.И. Лоскутов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций, lislosk@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8102-2900;

Я.В. Пухальский¹, научный сотрудник лаборатории промышленных

биотехнологических инноваций, ruhalskyyan@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5233-3497;

Н.И. Воробьев², кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоразнообразия сельскохозяйственных микроорганизмов, nik.ivanvorobyov@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8300-2287;

О.В. Астафьева¹, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории структурной переработки биоресурсов, astra39@list.ru, ORCID: 0000-0002-0187-3984;

А.И. Осипов³, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела химической мелиорации и опытного дела, aospov2006@mail.ru, ORCID: 0009-0003-3181-3792;

А.И. Якубовская⁴, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела сельскохозяйственной микробиологии, yakubovskaya_alla@mail.ru, ORCID 0009-0001-8434-2689;

В.Р. Турковская³, инженер-исследователь аналитической лаборатории, liatolani@mail.ru, ORCID: 0009-0008-8854-0461;

И.А. Каменева⁴, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов, irina.kameneva.7@mail.ru, ORCID 0000-0003-3914-7184;

В.В. Космин⁵, инженер-исследователь лаборатории климатических испытаний, jankiss88@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-2274-2265;

М.П. Сакович⁵, директор компании, jankiss88@mail.ru, ORCID: 0009-0005-5429-669X

¹Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН,

191014, г.Санкт-Петербург, Литейный пр., 55, vniiprakk55@mail.ru;

²ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии,

196608, Санкт-Петербург, г. Пушкин, шоссе Подбельского, д. 3, info@arriam.ru;

³ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,

195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, office@agrophys.ru;

⁴ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»,

295453, Республика Крым, г.Симферополь, ул. Киевская, 150, priemnaya@niishk.site;

⁵ООО «Organic farm Green Punch»,

196624, г. Санкт-Петербург, Валдайская, 9

Исследование посвящено оценке влияния экстракта зоогумуса как нового типа органического удобрения, полученного из экскрементов личинок черной львинки (*Hermetia illucens*), на изменения в биохимическом профиле микрозелени зернового амаранта на примере двух экологически пластичных сортов – Харьковский и Воронежский. Цель работы – сравнительный анализ изменения качественных и количественных показателей биоаккумуляции органических, амино- и жирных кислот в молодых проростках растений, выращенных на различных удобрительных фонах. Эксперимент проводили в контролируемых условиях гроутента в течение семи суток. Семена прорачивали в пластиковых лотках, заполненных кокосовым волокном. Добавку экстракта зоогумуса в концентрациях 0,5; 1,0 и 3,0 % сравнивали с увлажнением субстрата жидким трехкомпонентным минеральным удобрением, традиционно используемым в гидропонике. Удобрения вносили разово, в момент раскладки семян по поверхности субстрата. Контролем выступал вариант с поливом водопроводной кипяченой водой. Биохимический состав полученной зеленой биомассы анализировали методами капиллярного электрофореза и газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС). На примере аминокислот оценивали индекс повышения питательной ценности и адаптационного потенциала полученной биомассы при перераспределении данных компонентов из семян в молодые побеги. Максимальный прирост биомассы у обоих сортов на 28 % относительно контроля наблюдался при использовании добавки зоогумуса в концентрации 1,0 %. На минеральном фоне прибавка у сорта Харьковский составила 11 % и 38 % – у сорта Воронежский. Концентрация 3,0 % вызвала ингибирование роста, вероятно, из-за избытка питательных элементов в составе суспензии. Разница по высоте побегов на уровне 11 % наблюдалась только у сорта Воронежский на вариантах с добавлением органики. Сорт Воронежский проявил лучшую отзывчивость на внесение органической добавки: сумма незаменимых аминокислот (НАМ) увеличилась на 15–18 %, а доля ненасыщенных жирных кислот (ННЖК), таких как линолевая и α-линопеновая, достигла 80 % от общего количества ЖК. Биохимический анализ выявил значительное увеличение содержания щавелевой кислоты у обоих сортов при добавлении зоогумуса в концентрации 1 и 3 %. Результаты были сопоставимы с внесением минеральных удобрений. Это очевидно связано с адаптацией растений к окислительному стрессу и детоксикацией кальция. При этом вариант с добавкой 0,5 % зоогумуса демонстрировал близкие к контролю значения, минимизируя риски накопления оксалатов. Анализ индексов согласованности также подтвердил, что внесение зоогумуса в данной концентрации обеспечивает оптимальную когерентность аминокислотного профиля, приближая его к эталонным значениям в семенах. Результаты имеют практическое значение для развития органического земледелия, пищевой промышленности

и создания функциональных продуктов питания с повышенной биоэнергетической ценностью. Для экологического выращивания в органической гидропонике и получения функционального продукта питания больше подходит сорт Воронежский.

Ключевые слова: микрозелень, зерновой амарант, карбоноевые кислоты, зоогумус, черная львинка.

Для цитирования: Лоскутов С.И., Пухальский Я.В., Воробьев Н.И., Астафьевова О.В., Осипов А.И., Якубовская А.И., Турковская В.Р., Каменева И.А., Космин В.В., Сакович М.П. Биоаккумуляция карбоноевых кислот в микрозелени зернового амаранта под влиянием добавок зоогумуса // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 70–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-70-81.



BIOACCUMULATION OF CARBOXYLIC ACIDS IN GRAIN AMARANTH MICROGREENS UNDER THE EFFECT OF ZOOHUMUS ADDITIVES

S.I. Loskutov¹, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for industrial biotechnological innovations, lislosk@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8102-2900;

Ya.V. Pukhalsky¹, researcher of the laboratory for industrial biotechnological innovations, puhalskyyan@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5233-3497;

N.I. Vorobiev², Candidate of Technical Sciences, leading researcher, Agricultural Microorganism Biodiversity Laboratory, nik.ivanvorobyov@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8300-2287;

O.V. Astafieva¹, Candidate of Biological Sciences, researcher, Bioresource Structural Processing Laboratory, astra39@list.ru, ORCID: 0000-0002-0187-3984;

A.I. Osipov³, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the department of chemical melioration and experimental activities, aosipov2006@mail.ru, ORCID: 0009-0003-3181-3792;

A.I. Yakubovskaya⁴, Candidate of Biological Sciences, leading researcher, head of the department of agricultural microbiology, yakubovskaya_alla@mail.ru, ORCID 0009-0001-8434-2689;

V.R. Turkovskaya³, research engineer, Analytical Laboratory, liatolani@mail.ru, ORCID: 0009-0008-8854-0461;

I.A. Kameneva⁴, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory for physiology and ecology of microorganisms, irina.kameneva.7@mail.ru, ORCID 0000-0003-3914-7184;

V.V. Kosmin⁵, research engineer, Climate Testing Laboratory, jankiss88@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-2274-2265;

M.P. Sakovich⁵, Company Director, jankiss88@mail.ru, ORCID: 0009-0005-5429-669X

¹All-Russian Research Institute for Food Additives –

Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS,
191014, Saint-Petersburg, Liteyny Av., 55, vniipakk55@mail.ru;

²FSBSI All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology,
196600, Saint-Petersburg, Pushkin, Podbelskiy Sh., 3, info@arriam.ru;

³FSBSI Agrophysical Research Institute,
195220, Saint-Petersburg, Grazhdanskii pr, 14, office@agrophys.ru;

⁴FSBSI “Research Institute of Agriculture in Crimea”,
295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Str., 150, priemnaya@niishk.site;

⁵LLC «Organic Farm Green Punch»,
196624, Saint-Petersburg, Valdayskaya Str., 9

The current study deals with the estimation of the effect of zoohumus extract, a new type of organic fertilizer obtained from the excrement of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*), on changes in the biochemical profile of grain amaranth microgreens using two ecologically adaptive varieties 'Kharkovsky' and 'Voronezhsky'. The purpose of the current study was to comparatively analyze changes in the qualitative and quantitative bioaccumulation of organic, amino, and fatty acids in young plant seedlings grown under different fertilization conditions. The trial was conducted under controlled conditions in a grow tent for 7 days. The seeds were germinated in plastic trays filled with coconut fiber. The zoohumus additive at concentrations of 0.5, 1.0 and 3.0 % was compared to substrate moistened with a liquid three-component mineral fertilizer, traditionally used in hydroponics. The fertilizers were applied once, when the seeds were spread on the substrate surface. The variant with boiled tap water watering served as the control. The biochemical composition of the obtained green biomass was analyzed using capillary electrophoresis and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Using amino acids as an example there has been estimated the increase in nutritional value and adaptive potential of the obtained biomass through the redistribution of these components from seeds to young shoots. There was a maximum biomass increase for both varieties by 28 % relative to the control, when added zoohumus at a concentration of 1.0 %. With a mineral supplement, the increase of the variety 'Kharkovsky' was 11 % and that of the variety 'Voronezhsky' was 38 %. A concentration of 3.0 % has inhibited the growth, likely due to excess nutrients in the suspension. A difference in shoot height of 11% was established only for the variety 'Voronezhsky' in the variants when added organics. The variety 'Voronezhsky' has demonstrated better response to the organic additive with the total essential amino acids (EAAs) increase by 15–18 %, and the proportion of unsaturated fatty acids (UFAs), such as linoleic and α -linolenic, reached 80 % of the total FAs. Biochemical analysis has revealed a significant increase in oxalic acid content in both varieties when added zoohumus at concentrations of 1 and 3 %. The results were comparable to those obtained with mineral fertilizers. This is clearly related to the adaptation of plants to oxidative stress and calcium detoxification. Moreover, the

variant with 0.5 % zoohumus demonstrated values close to the control, minimizing the risk of oxalate accumulation. The analysis of consistency indices has also confirmed that adding zoohumus at this concentration can ensure optimal coherence of the amino acid profile, making it closer to seed reference values. These results have practical implications for the development of organic farming, food industry, and development of functional foods with increased bioenergetic value. The variety 'Voronezhsky' is more suitable for organic hydroponics cultivation and functional food production.

Keywords: microgreens, grain amaranth, carboxylic acids, zoohumus, black soldier fly.

Введение. Амарант – древняя двудольная культура семейства *Amaranthaceae* порядка *Caryophyllales* и подсемейства *Amaranthoideae*. Основная часть представителей рода *Amaranthus* – однолетние травянистые растения с бордовой или желто-зеленой расцветкой листьев и соцветий. По разным данным, род включает в себя от 60 до 87 видов и входит в десятку наиболее сложных в таксономическом отношении культур. Большинство видов относится к диким или сорным растениям. Наряду с гречихой и киноа род также является представителем немногочисленной группы «псевдозлаковых» растений (Соколова и др., 2024; Kaur et al., 2024).

Для российского сельского хозяйства амарант достаточно новая сельскохозяйственная культура, относящаяся к растениям C4-типа, имеющая повышенный адаптационный потенциал к болезням, засухе, жаре и вредителям. Культура при этом многоцелевая, ее можно использовать как пищевую (зерновые и овощные виды), кормовую (силос), декоративную, фармацевтическую (сквален, БАД) и техническую (производство строительных материалов). В пищевом отношении растение является богатым источником минеральных элементов: железа, меди, цинка, селена, фосфора, кальция и незаменимых аминокислот. Эксперты ООН и ученые включили зерновой амарант в список растений, которые составят основную базу питания населения планеты в XXI веке и нивелируют риск развития «скрытого» голода (Skwaryło-Bednarz et al., 2020). У культуры есть все шансы, чтобы на мировом уровне стать альтернативой Злакам. Обусловлено это тем, что зерна амаранта содержат большое количество метионина, лизина, лейцина и треонина (Proscopet and Oroian, 2022). Вместе с тем качественный состав профиля незаменимых аминокислот в протеинах амаранта лучше сбалансирован и имеет наибольшее совпадение с теоретически рассчитанным идеальным белком, приравненным к белку животных. Так, если принять идеальный аминокислотный СКОР за 100 условных единиц, то СКОР белка амаранта равен 75, что максимально приближено к молочному белку, равному 72 баллам. Белок сои – 68, белок злаковых: ячменя – 63, пшеницы – 57, кукурузы – 44 (Азизов и Ахмадова, 2021: Урубков, 2018: Caselato-Sousa and Amaya-Farfán, 2012). Поэтому продукты из амаранта могут быть рекомендованы для включения в рацион людей, страдающих целиакией. По количеству более ценных первичных белков – альбумину и глобулину зерновой амарант почти вдвое превосходит их содержание в пшенице, сое, рисе, ржи и кукурузе.

Зерновыми видами считаются амарант багряный (*Amaranthus cruentus*) и амарант печальный (*A. hypochondriacus*) родом из Центральной и Северной Америки, а также амарант хвостатый (*A. caudatus*) южноамериканского происхождения. Они широко возделываются в Индии, Китае, странах Юго-Восточной Азии, Африке и Европе.

В связи с открытием в 2024 г. в Воронежской области первого в мире завода по глубокой переработке зерен амаранта на белковый концентрат, спрос на его растительную продукцию в нашей стране будет только расти. Для круглогодичного периода выращивания растений необходимо будет культивировать их в сооружениях закрытого грунта. Показано, что тепличные культуры получают более урожайные по сравнению с растениями, выращенными на открытых полях. Помимо полного цикла возделывания до зерен, в теплице можно будет растить микрозелень амаранта, которая благодаря ее повышенной в сравнении со взрослыми растениями питательной ценности и короткому периоду вегетации может считаться «суперпродуктом» будущего (Гиш, 2022).

Для получения лекарственного сырья (ЛРС) и пищевых ингредиентов из амаранта, а также снижения себестоимости конечной продукции будут вестись поиски среди эффективных биогенных элиситоров и органических соединений в качестве альтернативной замены использования минеральных удобрений. Поскольку вся устойчивость и будущий биоэнергетический резерв растений закладываются на ранней (ювенильной) фазе роста, то изучаемые культуры на данном этапе вегетации также могут служить модельными объектами в технологии ускоренной селекции при создании новых сортов для органического земледелия, отзывчивых на внесение различных стимулирующих добавок. Подобные исследования, связанные с биотестированием и первичным анализом биохимических показателей, как правило, проводят на разновидностях гидропонной культуры, в гроубоксах/гроутентах, с регулируемыми условиями микроклимата и освещения. Делается это с целью исключения лимитирующего фактора воздействия почвы.

В последние годы среди природных стимуляторов выделяют экстракти продуктов жизнедеятельности беспозвоночных и насекомых – вермикомпост и зоогумус. И если первый уже достаточно хорошо изучен, то научных работ с зоогумусом в отечественной печати пока недостаточно. Зоогумус представляет собой сыпучий порошок из высушенных и просеянных экскрементов личинок синантропной мухи черная львинка (*Hermetia illucens*

Linnaeus, 1758). Проведенные ранее исследования показывают, что сухой зоогумус соответствует стандартам качества, установленным ГОСТ 33830-2016 и 53117-2008 для органических удобрений на основе отходов животноводства (Пендюрин и др., 2024). Таким образом, благодаря высокой биологической и питательной ценности его можно отнести к новому типу нетрадиционного органического удобрения (Пендюрин и др., 2020) и рекомендовать для совместного применения с минеральными агрохимикатами, в том числе и при выращивании микрозелени зернового амаранта.

Цель работы – сравнительная оценка изменений в профиле накопления органических, амино- и жирных кислот в микрозелени двух пластичных сортов зернового амаранта, выращенной на фоне внесения в субстрат возрастающих концентраций экстракта зоогумуса или минеральных удобрений.

Материалы и методы исследований. В качестве растительных тест-объектов для выращивания микрозелени на различных удобренительных фонах послужили семена двух сортов зернового амаранта: Харьковский и Воронежский. Сорт Харьковский занесен в Реестр растений Украины в 2001 г. как лекарственный, а Воронежский зарегистрирован в Госреестре селекционных достижений РФ как пищевой в январе 2011 г. (ООО «Русская олива»).

Эксперимент проводили в закрытом гроутенте ($120 \times 60 \times 60$ см) при интенсивной светокультуре (рис. 1). Температура воздуха во время проведения опыта составляла 23°C при относительной влажности воздуха 70 %. Источником освещения служила светодиодная панель белого света на 150 Вт (14,0 тыс. люкс, или 210 ммоль/м²/с ФАР). Фотопериод составил 16ч/8ч – день/ночь (Toscano et al., 2021). Срок вегетации – 7 суток.



Рис. 1. Микрозелень зернового амаранта, выращенного в гроутенте:
1 – контроль (вода); 2 – минеральное удобрение; 3 – жидкая добавка зоогумуса 0,5%;
4 – жидкая добавка зоогумуса 1,0%; 5 – жидкая добавка зоогумуса 3,0%

Fig. 1. Grain amaranth microgreens grown in a grow tent:
1 – control (Water); 2 – mineral fertilizer; 3 – 0.5% liquid zoohumus additive;
4 – 1.0% liquid zoohumus additive; 5 – 3.0% liquid zoohumus additive

Семена в количестве 3 г проращивали в пластиковых лотках, заполненных кокосовым волокном, являющимся нейтральным субстратом для хемопоники как одной из разновидностей гидропоники. Волокно предварительно увлажняли путем пролива разведенной супензией, полученной из зоогумуса, в концентрациях 0,5, 1,0 и 3,0 %. Выбор концентраций зоогумуса основан на ранних работах авторов и других исследователей на гидропонике (Romano et al., 2022a, b; Пухальский и др., 2024). В качестве чистого контроля выступал вариант выращивания микрозелени с увлажнением волокна кипяченой водопроводной водой. Дополнительно был заложен вариант выращивания растения при внесении жидкого трехкомпонентного минерального удобрения TriPart (Terra Aquatica, Франция): Micro HW (SW) NPK: 5-0-1; Grow NPK: 3-1-6; Bloom NPK: 0-5-6, разведенного согласно инструкции производителя.

По окончании эксперимента полученную зеленую биомассу (стебель и листья) взвеси-

вали, измеряли высоту побегов, сушили воздушно-теневым способом при комнатной температуре и затем измельчали в порошок для дальнейшего биохимического анализа.

Органические и аминокислоты определяли с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель-205». Для анализа жирных кислот применяли газовый хроматограф Agilent 8890 GH System, оснащенный масс-спектрометрическим детектором Agilent 5977B GH/MSD. Все измерения проводили в трех повторностях.

Обработку полученных данных выполняли с помощью прикладных систем Excel 2016 (Microsoft Corp., США). Также полученные результаты (на примере изучения аминокислотного профиля) были обработаны с использованием коэффициента корреляции Пирсона. Подобная практика расчетов используется в работах по оптимизации белковых компонентов и когерентности белка (Егорова и др., 2014; Chitale et al., 2011). По итогу мы получа-

ем безразмерный индекс (In), оценивающий уровень внутренней когерентности молодой растительности, и перестройку в соотношении аминокислот при сравнении с их содержанием в исходных семенах как покоящихся генеративных органах. Индекс In преобразован в шкалу от 0 до 1 по формуле

$$In = (\text{корреляция} + 1)/2.$$

Чем ближе полученные значения к единице, тем выше согласованность аминокислотного профиля в микрозелени с исходным (эталонным) показателем семян. Для проведения данной процедуры аминокислоты также предварительно были проанализированы в семенах обоих сортов.

Результаты и их обсуждение. Наилучшие результаты по сбору зеленой биомассы у изучаемых сортов отмечены на варианте с минераль-

ным фоном. Использование добавки экстракта зоогумуса в концентрации 1,0 % показало близкий к внесению минеральных удобрений результат: сбор микрозелени у сорта Харьковский здесь увеличился с 9,7 до 12,3 г, у сорта Воронежский – с 26,0 до 33,3 г. На минеральном фоне вес биомассы равнялся 11,3 и 36,0 г соответственно. На концентрации 3,0 % отмечено небольшое ингибирование роста, связанное, вероятно, с высокой концентрацией разбавленных эссенциальных элементов в органической суспензии. Разница по высоте побегов на уровне 11 % наблюдалась только у сорта Воронежский на вариантах с добавлением органики. По итогу эксперимента ювенильные проростки сорта Воронежский на всех вариантах опыта показали лучшую отзывчивость на действие удобрений в сравнении с контролем (рис. 2).

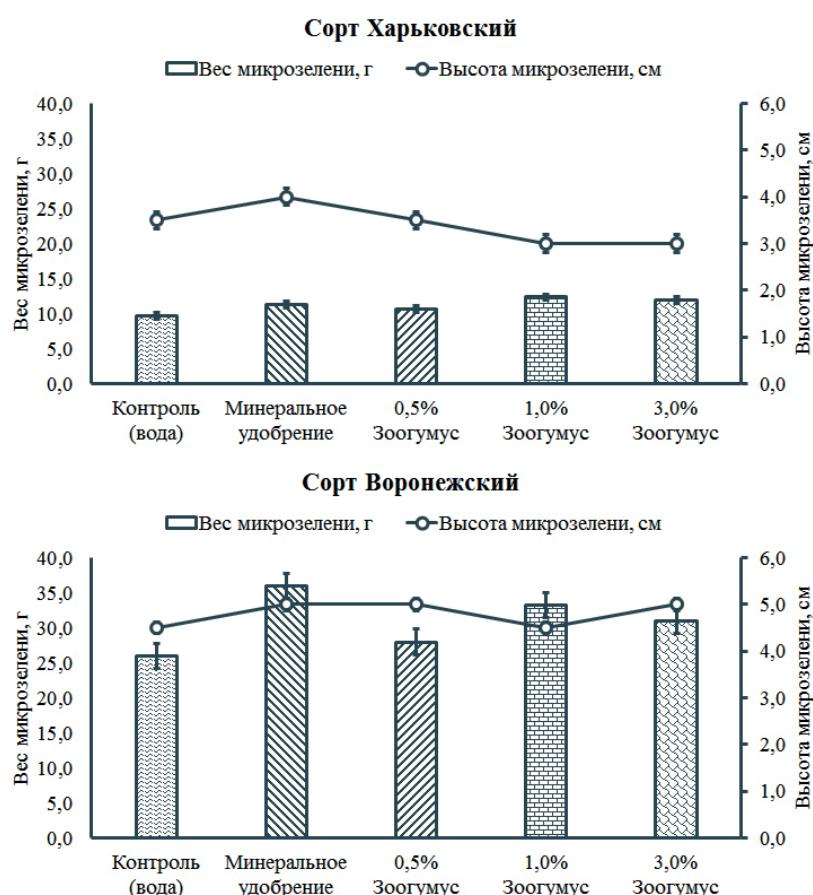


Рис. 2. Биометрические параметры развития микрозелени амаранта
Fig. 2. Biometric parameters of amaranth microgreen development

Анализ органических кислот показал увеличение доли содержания щавелевой кислоты на фоне внесения минеральных удобрений и экстракта зоогумуса в концентрациях 1 и 3 % по сравнению с контролем (табл. 1).

Накопление щавелевой кислоты может быть связано с повышением адаптационной лабильности растений к возможному окислительному стрессу или поражению насекомы-

ми-вредителями. Также это может быть сопряжено с детоксикацией избытка накопления в растениях кальция путем образования нерастворимых оксалатов (Li et al., 2022). Стоит отметить, что употребление продуктов с высоким содержанием растворимых оксалатов приводит к риску развития сердечно-сосудистых заболеваний, остеопорозу, гипероксалурии и системному оксалозу. В крайних случаях

отмечаются нефропатия и острая почечная недостаточность из-за образования камней, которые состоят в основном из фосфата и оксалата кальция (Zayed et al., 2025). При этом нерастворимая форма оксалата менее вредна и хуже усваивается кишечником, чем растворимые соли. С другой стороны, содержание щавелевой кислоты в микрозелени в 10 раз выше, чем в виргинильных растениях. Поэтому если рассматривать ее накопление лишь как пер-

вичный триггер устойчивости к дальнейшему росту, то этот факт можно считать здесь положительным. Если же оценивать с позиции употребления готовой микрозелени, то наилучшим результатом можно считать вариант с использованием 0,5%-го экстракта зоогумуса. Концентрация щавелевой кислоты здесь была максимально приближена к значениям на контроле и даже ниже.

Таблица 1. Содержание отдельных органических кислот в микрозелени амаранта, мг/г
Table 1. Content of individual organic acids in amaranth microgreens, mg/g

Кислота	Вариант				
	контроль (вода)	минеральное удобрение	зоогумус		
			0,5%-й	1,0%-й	3,0%-й
Сорт Харьковский					
Щавелевая	168,0 ± 34,0	215,0 ± 43,0*	149,0 ± 30,0	191,0 ± 38,0	192,3 ± 36,0
Муравьиная	2,1 ± 0,4	2,2 ± 0,4	1,9 ± 0,4	2,2 ± 0,4	2,17 ± 0,4
Винная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Яблочная	8,4 ± 1,7	8,5 ± 1,7	10,0 ± 2,0	15,0 ± 3,0*	17,73 ± 3,1*
Лимонная	15,0 ± 3,0	14,4 ± 2,9	13,1 ± 2,6	23,0 ± 5,0*	25,0 ± 4,8*
Янтарная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Молочная	4,9 ± 1,0	6,8 ± 1,4	5,5 ± 1,1	3,7 ± 0,7	3,5 ± 0,7
Уксусная	4,8 ± 1,0	4,6 ± 0,9	4,5 ± 0,9	6,8 ± 1,4	7,4 ± 1,3
Сумма	203,20	251,50	184,00	241,70	248,13
Сорт Воронежский					
Щавелевая	141,0 ± 28,0	232,0 ± 46,0*	145,0 ± 29,0	214,3 ± 42,9	240,1 ± 43,4*
Муравьиная	1,6 ± 0,3	2,1 ± 0,4	1,0 ± 0,2	1,2 ± 0,2	0,9 ± 0,2
Винная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Яблочная	18,0 ± 4,0	4,8 ± 1,0*	10,9 ± 2,2	8,1 ± 1,6	2,4 ± 0,7*
Лимонная	20,0 ± 4,0	9,3 ± 1,9*	15,0 ± 3,0	12,3 ± 2,5	8,1 ± 2,0*
Янтарная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Молочная	2,6 ± 0,5	6,0 ± 1,0*	1,5 ± 0,3*	5,6 ± 1,1*	6,2 ± 1,0*
Уксусная	4,7 ± 0,9	15,0 ± 3,0*	6,4 ± 1,3	16,0 ± 3,0*	20,3 ± 3,2*
Сумма	187,90	269,20	179,80	257,50	278,00

Примечание. * – различия статистически значимы ($p \geq 0,05$).

Анализ состава протеиногенных аминокислот не выявил резкого увеличения какого-либо из компонентов (табл. 2). Наблюдалось лишь суммарное накопление фракции на 29 % у сорта Харьковский на варианте с минеральными удобрениями. Известно, что аминокислоты

способствуют росту и синтезу новых белков в метаболизме растений. Они формируют устойчивость культуры к стрессам различной природы и участвуют в процессах детоксикации ксенобиотиков.

Таблица 2. Содержание отдельных аминокислот в микрозелени амаранта, мг/г
Table 2. Content of some amino acids in amaranth microgreens, mg/g

Кислота	Вариант						
	контроль (вода)	минеральное удобрение	зоогумус				
			0,5%-й	1,0%-й	3,0%-й		
Сорт Харьковский							
Заменимые аминокислоты (ЗАМ)							
<i>моноаминомонокарбоновые</i>							
Аланин	11,1 ± 0,2	14,4 ± 0,3*	10,1 ± 0,2*	9,8 ± 0,2*	11,3 ± 0,2		
Глицин	11,1 ± 0,2	13,8 ± 0,2*	9,6 ± 0,2*	10,0 ± 0,2*	11,7 ± 0,2		
Серин	9,1 ± 0,16	11,1 ± 0,2	8,5 ± 0,2	8,9 ± 0,2	9,4 ± 0,2		
Тирозин	4,2 ± 0,1	5,1 ± 0,1	4,9 ± 0,1	5,1 ± 0,1	4,0 ± 0,1		
<i>моноаминодикарбоновые</i>							
Аспарагин	27,0 ± 0,5	33,0 ± 0,7*	24,0 ± 0,5*	24,0 ± 0,5*	28,0 ± 0,5		
Глутамин	22,0 ± 0,4	28,0 ± 0,6	22,0 ± 0,4	19,0 ± 0,4	21,0 ± 0,4		
<i>диаминомонокарбоновые</i>							
Аргинин	8,5 ± 0,2	10,9 ± 0,2	7,3 ± 0,2	7,6 ± 0,2	9,0 ± 0,2		

Продолжение табл. 2

Кислота	Вариант				
	контроль (вода)	минеральное удобрение	зоогумус		
			0,5%-й	1,0%-й	3,0%-й
<i>гетероциклические</i>					
Гистидин	1,7 ± 0,04	3,8 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Пролин	8,7 ± 0,16	11,6 ± 0,2	8,5 ± 0,2	8,0 ± 0,1	8,6 ± 0,1
Гидроксипролин	0,3 ± 0,01	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1
<i>Незаменимые аминокислоты (НАМ)</i>					
<i>моноаминомонокарбоновые</i>					
Валин	9,2 ± 0,17	12,0 ± 0,2	9,6 ± 0,2	8,2 ± 0,2	8,6 ± 0,2
Лейцин и изолейцин	25,0 ± 0,4	31,0 ± 0,6*	22,0 ± 0,4*	22,0 ± 0,4*	26,0 ± 0,4
Метионин	1,4 ± 0,03	2,2 ± 0,1	2,1 ± 0,1	3,1 ± 0,1	1,5 ± 0,1
Тreonин	10,0 ± 0,18	12,8 ± 0,2	9,4 ± 0,2	9,5 ± 0,2	10,2 ± 0,2
Фенилаланин	9,7 ± 0,22	15,0 ± 0,4	9,5 ± 0,2	8,2 ± 0,2	9,3 ± 0,2
<i>диаминомонокарбоновые</i>					
Лизин	10,8 ± 0,19	13,1 ± 0,2*	9,4 ± 0,17*	9,0 ± 0,2*	11,1 ± 0,15
Сумма	169,80	218,60	159,30	154,60	171,91
<i>Сорт Воронежский</i>					
<i>Заменимые аминокислоты (ЗАМ)</i>					
<i>моноаминомонокарбоновые</i>					
Аланин	8,6 ± 0,2	9,2 ± 0,2	8,1 ± 0,2	8,4 ± 0,2	8,2 ± 0,2
Глицин	8,5 ± 0,2	9,0 ± 0,2	8,2 ± 0,2	9,1 ± 0,2	9,2 ± 0,2
Серин	5,5 ± 0,1	6,8 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,3 ± 0,1
Тирозин	5,6 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,7 ± 0,1	5,5 ± 0,1	5,5 ± 0,1
<i>моноаминодикарбоновые</i>					
Аспарагин	19,0 ± 0,4	20,0 ± 0,4	17,0 ± 0,3*	17,0 ± 0,3*	15,7 ± 0,3*
Глутамин	14,3 ± 0,29	14,6 ± 0,3	14,5 ± 0,3	13,8 ± 0,3	13,7 ± 0,3
<i>диаминомонокарбоновые</i>					
Аргинин	6,5 ± 0,2	6,5 ± 0,2	6,6 ± 0,2	8,3 ± 0,2	8,9 ± 0,2
<i>гетероциклические</i>					
Гистидин	2,7 ± 0,1	2,0 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,2 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Пролин	8,0 ± 0,1	8,0 ± 0,1	7,8 ± 0,1	8,1 ± 0,2	8,1 ± 0,2
Гидроксипролин	1,1 ± 0,1	0,5 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1
<i>Незаменимые аминокислоты (НАМ)</i>					
<i>моноаминомонокарбоновые</i>					
Валин	7,8 ± 0,1	8,2 ± 0,2	7,8 ± 0,1	8,3 ± 0,2	8,5 ± 0,2
Лейцин и изолейцин	20,0 ± 0,4	22,0 ± 0,4*	20,0 ± 0,4	23,0 ± 0,4*	24,0 ± 0,4*
Метионин	3,1 ± 0,1	3,3 ± 0,1	3,4 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1
Тreonин	7,5 ± 0,1	7,3 ± 0,1	7,5 ± 0,1	7,7 ± 0,2	7,8 ± 0,1
Фенилаланин	8,4 ± 0,2	9,0 ± 0,2	8,4 ± 0,2	8,8 ± 0,2	8,9 ± 0,2
<i>диаминомонокарбоновые</i>					
Лизин	8,4 ± 0,2	9,1 ± 0,2	8,0 ± 0,1	9,5 ± 0,2*	9,7 ± 0,2*
Сумма	135,00	140,60	131,30	139,10	139,24

Примечание. * – различия статистически значимы ($p \geq 0,05$).

Суммарное накопление жирных кислот везде было ниже контроля (табл. 3). Пальмитиновая, линолевая, а также а-линоленовая

кислоты в обоих сортах содержались в больших количествах и составляли 80 % от общего количества жирных кислот.

Таблица 3. Содержание жирных кислот в микрозелени амаранта, мг/г
Table 3. Content of fatty acids in amaranth microgreens, mg/g

Кислота	Вариант						
	контроль (вода)	минеральное удобрение	зоогумус				
			0,5%-й	0,5%-й	0,5%-й		
<i>Сорт Харьковский</i>							
<i>Насыщенные жирные кислоты (НЖК)</i>							
Миристиновая	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01		
Стеариновая	0,88 ± 0,22	0,56 ± 0,14	0,77 ± 0,19	0,91 ± 0,23	0,74 ± 0,22		
Пальмитиновая	4,05 ± 1,01	2,64 ± 0,66*	3,46 ± 0,87	3,66 ± 0,92	3,13 ± 1,01		
Бегеновая	0,12 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,03	0,08 ± 0,03		
Лигноцериновая	0,22 ± 0,06	0,16 ± 0,04	0,20 ± 0,05	0,20 ± 0,05	0,19 ± 0,06		

Продолжение табл. 3

Кислота	Вариант				
	контроль (вода)	минеральное удобрение	зоогумус		
			0,5%-й	0,5%-й	0,5%-й
Ненасыщенные жирные кислоты (ННЖК)					
Пальмитолеиновая	0,54 ± 0,14	0,41 ± 0,10	0,48 ± 0,12	0,43 ± 0,11	0,42 ± 0,14
Олеиновая	1,44 ± 0,36	0,78 ± 0,20	1,16 ± 0,29	1,25 ± 0,31	1,00 ± 0,36
Линолевая	4,03 ± 1,01	2,76 ± 0,69*	3,49 ± 0,87	3,57 ± 0,89	3,16 ± 1,01
α-линополеновая	7,27 ± 1,82	5,73 ± 1,43	6,65 ± 1,66	5,99 ± 1,50	6,01 ± 1,82
Арахиновая	0,07 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,05 ± 0,02
Гондоиновая	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Сумма	18,71	13,19	16,44	16,25	14,86
Сорт Воронежский					
Насыщенные жирные кислоты (НЖК)					
Миристиновая	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Стеариновая	0,80 ± 0,20	0,47 ± 0,12	0,55 ± 0,14	0,59 ± 0,15	0,44 ± 0,12
Пальмитиновая	3,71 ± 0,93	2,52 ± 0,63*	2,50 ± 0,63*	2,85 ± 0,71	2,16 ± 0,56*
Бегенновая	0,08 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01
Лигноцериновая	0,16 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,06 ± 0,02
Ненасыщенные жирные кислоты (ННЖК)					
Пальмитолеиновая	0,32 ± 0,08	0,07 ± 0,02	0,21 ± 0,05	0,28 ± 0,07	0,23 ± 0,06
Олеиновая	1,12 ± 0,28	0,81 ± 0,20	0,69 ± 0,17	0,86 ± 0,21	0,62 ± 0,16
Линолевая	3,08 ± 0,77	2,15 ± 0,54*	2,06 ± 0,52*	2,33 ± 0,58*	1,74 ± 0,46*
α-линополеновая	5,38 ± 1,34	3,11 ± 0,78*	3,84 ± 0,96	4,5 ± 1,13	3,70 ± 0,93*
Арахиновая	0,06 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,01
Гондоиновая	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Сумма	14,76	9,36	10,10	11,65	9,06

Примечание. * – различия статистически значимы ($p \geq 0,05$).

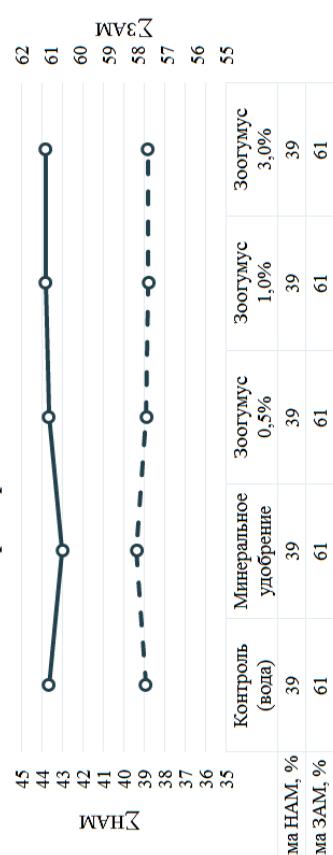
Однако оценивая процентное соотношение аминокислот и жирных кислот, мы наблюдали тенденцию к увеличению доли незаменимых аминокислот (НАМ) и ненасыщенных жирных кислот (ННЖК), полезных для здоровья человека, на вариантах с использованием органических добавок у сорта Воронежский (рис. 3). Соотношение НАМ/ЗАМ (в мг/г) здесь составило по вариантам: 0,69 → 0,72 → 0,72 → 0,76 → 0,80, а соотношение ННЖК/НЖК (в мг/г): 2,09 → 1,96 → 2,13 → 2,23 → 2,34. Таким образом, концентрация зоогумуса 3 % здесь продемонстрировала наилучший потенциал в изменении метаболизма культуры. Для сорта Харьковский соотношение НАМ/ЗАМ осталось неизменным по всем вариантам на уровне 0,63, тогда как по соотношению ННЖК/НЖК лучший результат зафиксирован на минеральном фоне: 2,83 (против 2,52 на контроле). На варианте с зоогумусом показатели составили 2,62 → 2,32 → 2,57, что выделяет концентрацию 0,5 % зоогумуса как максимально приближенную к минеральным удобрениям.

Перераспределение аминокислот из семян в микрозелень – это естественный процесс. При этом суммарное количество их может снижаться под воздействием ферментов и формирования новых тканей – стеблей и первых листьев. Аминокислоты участвуют в фотосинтетической активности, из-за чего синтезируются затем повторно. Соотношение их также

претерпевает изменения. В частности, мы наблюдаем это на примере нашего эксперимента. Результаты исследования аминокислотного состава семян амаранта приведены в таблице 4. Установлено, что общее содержание различных групп аминокислот у семян обоих сортов довольно схоже и высоко (182,91 мг/г у сорта Харьковский и 185,10 мг/г у сорта Воронежский). Среди них в сумме больше всего содержалосьmonoаминодикарбоновых (31–39 % в общей сумме) кислот. Значительно меньше накапливалось monoаминомонокарбоновых (19–23 %), диаминомонокарбоновых (2–3 %) и гетероциклических (5–9 %) кислот. Доля незаменимых аминокислот (65 %) была выше, чем заменимых (35 %). По мере убывания содержания отдельных аминокислот можно составить следующий ряд: у сорта Харьковский – глутамин > лейцин и изолейцин > аспарагин > валин > лизин > глицин > серин > фенилаланин > метионин > тирозин > аланин > гистидин > аргинин > пролин > треонин > гидроксипролин; у сорта Воронежский – глутамин > лейцин и изолейцин > аспарагин > глицин > лизин > серин > валин > пролин > аланин > фенилаланин > треонин > гистидин > аргинин > тирозин > метионин > гидроксипролин. От общей суммы аминокислот более 3/5 составляло суммарное содержание аспарагина, глутамина, лейцина и изолейцина.

Аминокислоты

Сорт Харьковский



Жирные кислоты

Сорт Харьковский

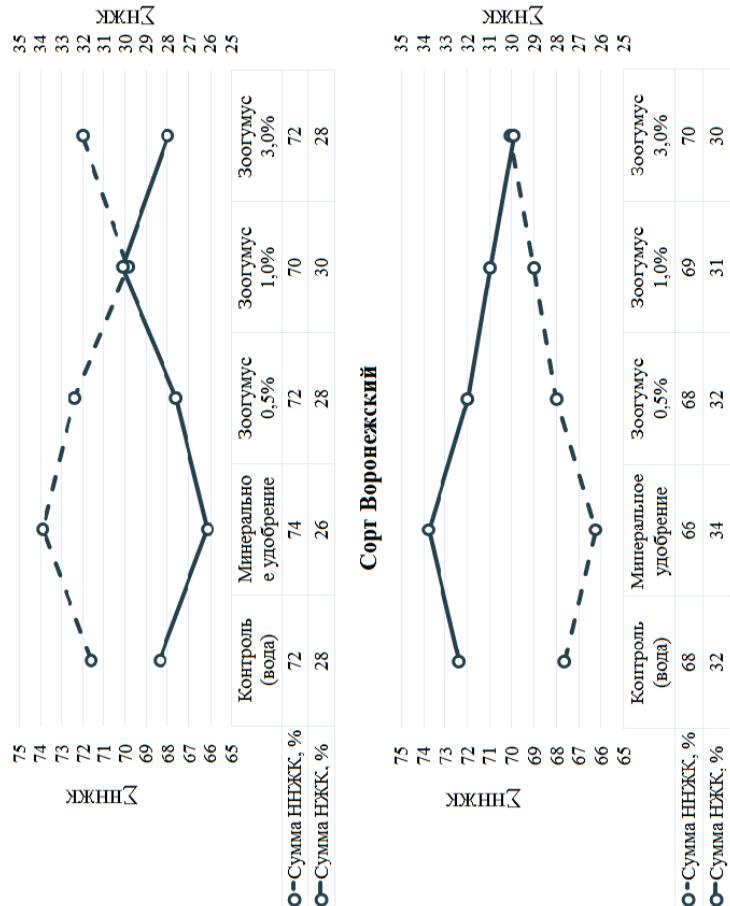


Рис. 3. Соотношение накопления аминокислот и жирных кислот в микрозелени амаранта по вариантам опыта
Fig. 3. Accumulation ration of amino acids and fatty acids in amaranth microgreens according to the experimental variants

Таблица 4. Содержание аминокислот в семенах амаранта, мг/г
Table 4. Content of amino acids in amaranth seeds, mg/g

Кислота	Сорт Харьковский	Сорт Воронежский
Заменимые аминокислоты (ЗАМ)		
<i>моноаминомонокарбоновые</i>		
Аланин	5,69	9,15
Глицин	10,69	16,38
Серин	9,59	11,19
Тирозин	7,98	5,46
<i>моноаминодикарбоновые</i>		
Аспарагин	21,75	17,10
Глутамин	48,86	39,69
<i>диаминомонокарбоновые</i>		
Аргинин	4,26	6,01
<i>гетероциклические</i>		
Гистидин	4,59	6,01
Пролин	4,02	9,30
Гидроксипролин	0,31	0,94
Незаменимые аминокислоты (НАМ)		
<i>моноаминомонокарбоновые</i>		
Валин	11,83	9,88
Лейцин и изолейцин	23,23	21,53
Метионин	8,02	3,70
Треонин	2,25	7,43
Фенилаланин	8,72	8,43
<i>диаминомонокарбоновые</i>		
Лизин	11,12	12,90

Расчет индексов In организации показал, что наибольшая согласованность аминокислотного профиля в микрозелени амаранта к их эталонному содержанию в семенах у обоих сортов отмечена при использовании 0,5%-й концентрации зоогумуса (табл. 5).

Таблица 5. Изменение индекса когерентности аминокислот из семян в микрозелень амаранта, выращенной на различных удобрительных фонах
Table 5. Change in the amino acid coherence index from seeds to amaranth microgreens grown under different fertilization conditions

Вариант	Сорт Харьковский		Сорт Воронежский	
	Суммарное содержание аминокислот	In	Суммарное содержание аминокислот	In
Семена	182,9	1,00	185,1	1,00
Микрозелень – контроль (вода)	169,8	0,72	135,0	0,88
Микрозелень – минеральное удобрение	218,6	0,85	140,6	0,92
	0,5 %	159,3	0,94	131,3
Микрозелень – зоогумус	1,0 %	154,6	0,91	139,1
	3,0 %	171,9	0,89	139,2

Выводы.

1. Экстракт зоогумуса в концентрации 1,0 % демонстрирует наибольшую эффективность, сопоставимую с минеральными удобрениями, обеспечивая прирост биомассы микрозелени у обоих сортов амаранта (до 28 %) и повышение доли незаменимых аминокислот (НАМ) и ненасыщенных жирных кислот (ННЖК).

2. Применение зоогумуса в концентрации 3,0 % вызывает ингибирование роста и значительное накопление щавелевой кислоты (до 240,1 мг/г), что требует дополнительных исследований для минимизации рисков, связанных с пищевой безопасностью.

3. Вариант с внесением 0,5%-го экстракта зоогумуса демонстрировал близкие к контро-

лю значения, минимизируя риски накопления оксалатов. Анализ корреляций также подтвердил, что зоогумус в концентрации внесения 0,5 % обеспечивает оптимальную когерентность аминокислотного профиля, приближая его к эталонным значениям в семенах.

4. Сорт Воронежский проявил повышенную адаптацию к действию органических добавок, демонстрируя лучшие показатели биоаккумуляции питательных веществ, что делает его перспективным сортом для экологического выращивания в органической гидропонике для получения функционального пищевого ингредиента. С целью сохранения товарной биомассы и снижения себестоимости конечного продукта на нем можно также комбинировать

использование обоих видов удобрений в пользу снижения доли внесения минеральных солей. По соотношению ННЖК/НЖК и суммарному накоплению аминокислот сорт Харьковский, напротив, проявил повышенную адаптацию к действию минеральных удобрений.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (темы FGUS 2024-0010 и FGUS 2025-0005).

Библиографический список

1. Азизов И.К., Ахмадова Г.А. Аминокислотный состав семян амаранта хвостатого, произрастающего в Узбекистане // Фармация. 2021. № 7. С. 37–40. DOI: 10/29296/25419218-2021-07-06
2. Гиш Р.А. Амарант – культура будущего // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 181. С. 83–92. DOI: 10.21515/1990-4665-181-008
3. Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю., Бочкарев М.С., Дорн Г.А. Разработка новых кондитерских изделий с использованием нетрадиционного сырья // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 3 (34). С. 31–38.
4. Пендюрин Е.А., Здоровцов В.А., Рыбина С.Ю., Святченко А.В. Агрохимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого черная львинка // Агрохимический вестник. 2024. № 3. С. 59–62. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010
5. Пендюрин Е.А., Рыбина С.Ю., Смоленская Л.М. Использование зоокомпоста черной львинки в качестве органического удобрения // Аграрная наука. 2020. № 7–8. С. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110
6. Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Сидорова В.Р., Якубовская А.И., Мещеряков Д.Д., Каменева И.А. Использование гермикомпоста *Hermetia illucens* в технологии выращивания микрозелени бобовых культур // Аграрная наука. 2024. № 4. С. 101–107. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107
7. Соколова Д.В., Соловьева А.Е., Зарецкий А.М., Шеленга Т.В. Потенциал коллекции амаранта ВИР в свете мировых тенденций использования и селекции // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024. № 28 (7). С. 731–743. DOI: 10.18699/vjgb-24-81
8. Урубков С.А., Хованская С.С., Дремина Н.В., Смирнов С.О. Анализ химического состава и пищевой ценности зернового сырья для производства продуктов детского питания // Пищевая промышленность. 2018. № 8. С. 16–21.
9. Caselato-Sousa V.M., Amaya-Farfán J. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review // Journal of Food Science. 2012. Vol. 77 (4). P. 93–104. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x
10. Chitale M., Palakodety S., Kihara D. Quantification of protein group coherence and pathway assignment using functional association // BMC Bioinformatics. 2011. Vol. 19(12). P. 373. DOI: 10.1186/1471-2105-12-373
11. Kaur N., Kaur S., Agarwal A., Sabharwal M., Tripathi A.D. Amaranthus crop for food security and sustainable food systems // Planta. 2024. Vol. 260 (3). Article 59. DOI: 10.1007/s00425-024-04490-3
12. Li P., Liu C., Luo Y., Shi H., Li Q., PinChu C., Li X., Yang J., Fan W. Oxalate in Plants: Metabolism, Function, Regulation, and Application // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2022. Vol. 70(51). P. 16037–16049. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c04787
13. Procopet O., Oroian M. Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile // Applied Sciences. 2022. Vol. 12 (4). Article 2181. DOI: 10.3390/app12042181
14. Romano N., Fischer H., Powell A., Sinha A.K., Islam S., Deb U., Francis S. Applications of Black Solider Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Frass on Sweetpotato Slip Production, Mineral Content and Benefit-Cost Analysis // Agronomy. 2022b. Vol. 12(4). Article 928. DOI: 10.3390/agronomy12040928
15. Romano N., Powell A., Islam S., Fischer H., Renukdas N., Sinha A.K., Francis S. Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: effects on the production and composition of sweet potato slips and sweet banana peppers // Aquaculture. 2022a. Vol. 555. Article 738160. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738160
16. Skwaryło-Bednarz B., Stępiak P.M., Jamiołkowska A., Kopacki M., Krzepiłko A., Klikocka H. Amaranth seeds as a source of nutrients and bioactive substances in human diet // Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus. 2020. Vol. 19(6). P. 153–164. DOI: 10.24326/asphc.2020.6.13
17. Toscano S., Cavallaro V., Ferrante A., Romano D., Patané C. Effects of Different Light Spectra on Final Biomass Production and Nutritional Quality of Two Microgreens // Plants. 2021. № 10. Article 1584. DOI: 10.3390/plants10081584
18. Zayed A., Adly G.M., Farag, M.A. Management Strategies for the Anti-nutrient Oxalic Acid in Foods: A Comprehensive Overview of Its Dietary Sources, Roles, Metabolism, and Processing // Food and Bioprocess Technology. 2025. Vol. 18. P. 4280–4300. DOI: 10.1007/s11947-024-03726-0

References

1. Azizov I.K., Akhmadova G.A. Aminokislotnyi sostav semyan amaranta khvostatogo, proizrastayushchego v Uzbekistane [Amino acid composition of amaranth seeds grown in Uzbekistan] // Farmatsiya. 2021. № 7. S. 37–40. DOI: 10/29296/25419218-2021-07-06
2. Gish R.A. Amarant – kul'tura budushchego [Amaranth is the crop of the future] // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 181. S. 83–92. DOI: 10.21515/1990-4665-181-008
3. Egorova E.Yu., Reznichenko I.Yu., Bochkarev M.S., Dorn G.A. Razrabotka novykh konditerskikh izdelii s ispol'zovaniem netraditsionnogo syr'ya [Development of new confectionery products using non-traditional raw materials] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevyykh proizvodstv. 2014. № 3(34). S. 31–38.

4. Pendyurin E.A., Zdorovtsov V.A., Rybina S.Yu., Svyatchenko A.V. Agrokhimicheskie kharakteristiki zookomposta lichinok nasekomogo chernaya l'vinka [Agrochemical characteristics of zoocompost of black lion fly larvae] // Agrokhimicheskii vestnik. 2024. № 3. S. 59–62. DOI: 10.24412/1029-2551-2024-3-010

5. Pendyurin E.A., Rybina S.Yu., Smolenskaya L.M. Ispol'zovanie zookomposta chernoi l'vinki v kachestve organicheskogo udobreniya [Use of zoocompost of black lion fly larvae as an organic fertilizer] // Agrarnaya nauka. 2020. № 7–8. S. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110

6. Pukhal'skii Ya.V., Loskutov S.I., Sidorova V.R., Yakubovskaya A.I., Meshcheryakov D.D., Kameneva I.A. Ispol'zovanie germikomposta *Hermetia illucens* v tekhnologii vyrashchivaniya mikrozeleni bobovykh kul'tur [Use of hermicompost of *Hermetia illucens* in legume microgreens cultivation] // Agrarnaya nauka. 2024. № 4. S. 101–107. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-381-4-101-107

7. Sokolova D.V., Solov'eva A.E., Zaretskii A.M., Shelenga T.V. Potentsial kollektsei amaranta VIR v svete mirovykh tendentsii ispol'zovaniya i selektsii [Potential of the VIR amaranth collection according to the global trends in use and breeding] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2024. № 28(7). S. 731–743. DOI: 10.18699/vjgb-24-81

8. Urubkov S.A., Khovanskaya S.S., Dremina N.V., Smirnov S.O. Analiz khimicheskogo sostava i pishchevoi tsennosti zernovogo syr'ya dlya proizvodstva produktov detskogo pitaniya [Analysis of the chemical composition and nutritional value of grain raw materials to produce baby food] // Pishchevaya promyshlennost'. 2018. № 8. S. 16–21.

9. Caselato-Sousa V.M., Amaya-Farfán J. State of knowledge on amaranth grain: a comprehensive review // Journal of Food Science. 2012. Vol. 77(4). P. 93–104. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02645.x

10. Chitale M., Palakodety S., Kihara D. Quantification of protein group coherence and pathway assignment using functional association // BMC Bioinformatics. 2011. Vol. 19(12). P. 373. DOI: 10.1186/1471-2105-12-373.

11. Kaur N., Kaur S., Agarwal A., Sabharwal M., Tripathi A.D. Amaranthus crop for food security and sustainable food systems // Planta. 2024. Vol. 260 (3). P. 59. DOI: 10.1007/s00425-024-04490-3

12. Li P., Liu C., Luo Y., Shi H., Li Q., PinChu C., Li X., Yang J., Fan W. Oxalate in Plants: Metabolism, Function, Regulation, and Application // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2022. Vol. 70(51). P. 16037–16049. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c04778

13. Procopet O., Oroian M. Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile // Applied Sciences. 2022. Vol. 12 (4). Article 2181. DOI: 10.3390/app12042181

14. Romano N., Fischer H., Powell A., Sinha A.K., Islam S., Deb U., Francis S. Applications of Black Solider Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Frass on Sweetpotato Slip Production, Mineral Content and Benefit-Cost Analysis // Agronomy. 2022b. Vol. 12 (4). Article 928. DOI: 10.3390/agronomy12040928

15. Romano N., Powell A., Islam S., Fischer H., Renukdas N., Sinha A.K., Francis S. Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: effects on the production and composition of sweet potato slips and sweet banana peppers // Aquaculture. 2022a. Vol. 555. Article 738160. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2022.738160

16. Skwarylo-Bednarz B., Stępiak P.M., Jamiołkowska A., Kopacki M., Krzepiło A., Klikocka H. Amaranth seeds as a source of nutrients and bioactive substances in human diet // Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus. 2020. Vol. 19(6). P. 153–164. DOI: 10.24326/asphc.2020.6.13

17. Toscano S., Cavallaro V., Ferrante A., Romano D., Patané C. Effects of Different Light Spectra on Final Biomass Production and Nutritional Quality of Two Microgreens // Plants. 2021. № 10. Article 1584. DOI: 10.3390/plants10081584

18. Zayed A., Adly G.M., Farag, M.A. Management Strategies for the Anti-nutrient Oxalic Acid in Foods: A Comprehensive Overview of Its Dietary Sources, Roles, Metabolism, and Processing // Food and Bioprocess Technology. 2025. Vol. 18. P. 4280–4300. DOI: 10.1007/s11947-024-03726-0

Поступила: 19.05.25; доработана после рецензирования: 12.07.25; принята к публикации: 21.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Лоскутов С.И., Пухальский Я.В. – концептуализация исследований, сбор данных, проведение эксперимента, подготовка черновика рукописи; Астафьев О.В. – проведение биохимического анализа; Воробьев Н.И. – сбор и анализ данных и их интерпретация; Осипов А.И., Якубовская А.И., Турковская В.Р., Каменева И.А., Космин В.В., Сакович М.П. – правка черновика рукописи, подготовка итоговой версии статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА *TRITICUM DURUM DESF* В УСЛОВИЯХ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Е.Ю. Подласова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекционно-генетических исследований в растениеводстве, katerina.pryakhina@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2985-198X;

А.А. Новикова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекционно-генетических исследований в растениеводстве, tony-novikova@yandex.ru, ORCID ID:0000-0002-6947-9262

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 46000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29

Цель исследования – определить взаимосвязь урожайности и качества зерна с метеорологическими условиями Оренбургского Предуралья. Полевые исследования были проведены в 2023–2024 гг. на базе опытных полей ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (поселок Нежинка, Оренбургский район). Результаты анализа показали, что сорт Безенчукская золотистая отличается повышенной адаптивностью к различным погодным условиям, демонстрируя максимальную продуктивность как при недостатке влаги (1,5 т/га), так и при ее избытке (2,3 т/га). Качество зерна также претерпевает изменения в зависимости от климатических условий. Содержание белка колебалось от 9 до 11,7 %, клейковины – от 19,3 до 34 %, ИДК – от 41 до 65 условных единиц, а индекс глютена – от 58,5 до 86,6 %. Наиболее высокие показатели зафиксированы у сорта Безенчукская золотистая. Выявлена прямая зависимость между урожайностью и среднесуточной температурой воздуха в августе: $r = 0,64$ ($p \leq 0,05$), а также между объемом выпавших осадков и ГТК в июле: $r = 0,79$ и $r = 0,59$ соответственно. Содержание белка продемонстрировало выраженную отрицательную корреляцию с количеством осадков и ГТК в мае: $r = -0,74$ и $r = -0,97$, июле: $r = -0,76$ и $r = -0,91$. Содержание клейковины положительно коррелировало со среднесуточной температурой июля – $r=0,75$ и отрицательно – с объемом осадков: $r = -0,74$. Содержание сырой клейковины в манной крупе тесно связано со среднесуточной температурой воздуха и обратно пропорционально объему осадков в июле: $r = 0,62$ и $r = -0,67$ соответственно. Индекс глютена показал слабую взаимосвязь с температурой воздуха и осадками в июне: $r = 0,33$ и $r = 0,36$ и ГТК $r = 0,22$.

Ключевые слова: яровая твердая пшеница, урожайность, белок, качество клейковины, содержание клейковины, индекс глютена.

Для цитирования: Подласова Е.Ю., Новикова А.А. Урожайность и качество зерна *Triticum durum desf* в условиях Оренбургского Предуралья // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 82–89. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-82-89.



GRAIN PRODUCTIVITY AND QUALITY OF *TRITICUM DURUM DESF* IN THE ORENBURG CIS-URAL REGION

Е.Ю. Подласова, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for breeding and genetic research in plant breeding, katerina.pryakhina@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2985-198X;

А.А. Новикова, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory for breeding and genetic research in plant breeding, tony-novikova@yandex.ru, ORCID ID:0000-0002-6947-9262

Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburg, 9-th January Str., 29

The purpose of the current paper was to establish correlation between grain productivity and quality and weather conditions of the Orenburg Cis-Ural region. The field trials were conducted at the experimental plots of the FSBSI FRC BST RAS (v. of Nezhinka, Orenburg district) in 2023–2024. The analysis has shown that the variety 'Bezenchukskaya Zolotistaya' was characterized with increased adaptability to various weather conditions, demonstrating maximum productivity under both a moisture deficit (1.5 t/ha) and a moisture excess (2.3 t/ha). Grain quality also varied depending on weather conditions. Protein in grain ranged from 9 to 11.7 %, gluten ranged from 19.3 to 34 %, IDC ranged from 41 to 65 conventional units, and the gluten index ranged from 58.5 to 86.6 %. The variety 'Bezenchukskaya Zolotistaya' has demonstrated the largest values of these traits. There has been established a direct correlation between productivity and mean daily air temperature in August with $r = 0.64$ ($p \leq 0.05$), as well as between precipitation amount and HTC in July with $r = 0.79$ and $r = 0.59$, respectively. Protein percentage has shown a pronounced negative correlation with precipitation amount and HTC in May with $r = -0.74$ and $r = -0.97$ and in July with $r = -0.76$ and $r = -0.91$. Gluten percentage has correlated positively with the mean daily temperature in July with $r = 0.75$ and negatively with precipitation $r = -0.74$. The crude gluten percentage in semolina has been closely related to mean daily air temperature and inversely proportional to precipitation in July ($r = 0.62$ and $r = -0.67$, respectively). The gluten index has shown a weak correlation with air temperature and precipitation in June ($r = 0.33$ and $r = 0.36$), and HTC ($r = 0.22$).

Keywords: spring durum wheat, productivity, protein, gluten quality, gluten percentage, gluten index.

Введение. Главной задачей реализации Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации является самообеспечение продовольственным зерном как страны в целом, так и отдельных ее регионов. С учетом вышеизложенного на первый план выходит задача производства зерна с заранее заданными технологическими свойствами, обеспечивающими производство продуктов питания определенного состава и назначения (Гончаров и др., 2018).

Яровая твердая пшеница (*Triticum durum Desf*) занимает второе место по распространенности после мягкой пшеницы, является не только экономически значимой культурой, но и источником ценной манной крушки, из которой изготавливаются макаронные и крупульные изделия (Евдокимов и др., 2021). При производстве качественных макарон зерно должно соответствовать определенным критериям стекловидности, содержанию белка, качеству и количеству клейковины и др. К базовым показателям определения качества зерна относят содержание клейковины и белка.

Клейковина, составляет около 80 % белкового компонента зерна и играет ключевую роль в формировании качества продукта (Васин и др., 2021). При этом большое значение имеет качество клейковины. Так, чрезмерно тянувшаяся, липкая клейковина характеризуется высокими значениями ИДК и делает тесто пластичным, снижая его упругость и прочность (Ложкин и др., 2024). Однако и излишне слабая или, напротив, излишне упругая клейковина нежелательна для производства макарон. Мировой опыт в производстве макаронных изделий показывает, что качество клейковины оказывает более существенное влияние на макаронные свойства, чем ее количество или содержание белка (Розова и др., 2015).

На содержание белка и клейковины в зерне в большей степени влияют условия окружающей среды, в то время как качество клейкови-

ны в основном определяется генетикой сорта (Мухитов и др., 2021). В большинстве научных работ подчеркивается, что недостаток влаги и высокие температуры после формирования зерна способствуют увеличению содержания клейковины (Демина и др., 2022). Повышенная влажность воздуха может снижать качество клейковины, но не у всех сортов. А в условиях избыточной влаги и низких температур клейковина и вовсе может не отмываться (Подласова и др., 2024).

Цель данного исследования – определить взаимосвязь урожайности и качества зерна с метеорологическими условиями Оренбургского Предуралья.

Материалы и методы исследования. Полевые исследования проведены в Оренбургском Предуралье на базе опытных полей ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (п. Нежинка, Оренбургский район).

Объектом исследования являлись три генотипа яровой твердой пшеницы – Целинница (стандарт) (ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук), Безенчукская золотистая (Самарской НИИСХ), Луч 25 (НИИСХ Юго-Востока).

Опыт закладывали в 2023–2024 гг. по чистому пару, срок посева – первая декада мая, сеялкой СЗ-3,6 в четырехкратной повторности, площадь делянки 22 м² с нормой высева 4,5 млн всхожих зерен на 1 гектар. Уборку проводили в фазу восковой спелости зерна селекционным комбайном Terrion.

Почва опытного поля – чернозем южный среднемощный средне гумусный. Содержание гумуса в пахотном слое почвы составило 2,71–3,52 %, общего азота 0,25–0,26 %, подвижного фосфора 36,6–40,5 мг/кг, обменного калия 275,3–307,3 мг/кг, рН почвенного раствора 6,9–6,7.

Метеорологические условия за годы исследований можно характеризовать как типичные для резко континентального климата (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические условия вегетационного периода яровой твердой пшеницы (2023–2024 гг.)

Table 1. Weather conditions for spring durum wheat vegetation (2023–2024)

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С			Осадки, мм		
		Среднесуточная			2023 г.	2024 г.	средне-многолетние
		2023 г.	2024 г.	средне-многолетняя			
Май	1	15,1	8,9	13,7	1	26	9
	2	14,2	11,4	15,4	12	11	9
	3	22,8	16,2	16,7	1,5	2	9
	месяц	17,5	12,3	15,3	14,5	39	27
Июнь	1	23,2	22,4	18,9	2	11	12
	2	20,7	26,9	20,8	16,5	3	12
	3	17,1	17,9	21,7	15	57	13
	месяц	20,3	22,4	20,5	33,5	71	37
Июль	1	26,2	24,5	22,2	4,5	1,5	13
	2	21,2	21,7	21,7	46	41	13
	3	24	20,1	22,3	6	10,5	13
	месяц	23,7	22	22,1	56,5	53	39

Продолжение табл. 1

Месяц	Декада	Температура воздуха, °С			Осадки, мм		
		Среднесуточная			2023 г.	2024 г.	средне-многолетние
		2023 г.	2024 г.	средне-многолетняя			
Август	1	24,3	21,1	21,5	0	18	11
	2	24,9	17,5	20,1	0	23	10
	3	16,2	18,3	18,5	0	0	11
	месяц	21,6	19	20,5	0	41	32
ИТОГО		—	—	—	104,5	204	128

В 2023 г. недостаток влаги наблюдался на протяжении всего периода вегетации. В течение первой и второй декад мая среднесуточная температура воздуха колебалась в пределах 14,0–15,0 °С, что практически соответствовало средним многолетним показателям для этого времени года. Однако в третьей декаде мая установилась необычно жаркая погода с температурой 22,8 °С, превышающей среднемноголетнюю норму на 6,0 °С. В первой декаде июня температура продолжала оставаться аномально высокой, достигнув 23,2 °С.

Во второй и третьей декадах июня температура воздуха снизилась до 20,7–17,1 °С соответственно, что близко к обычным значениям, и выпало в общей сложности 32 мм осадков: 16,5 мм во второй декаде и 15 мм – в третьей. В первой декаде июля среднесуточная температура воздуха поднялась до 26,2 °С, сопровождаясь небольшим количеством осадков (4,5 мм). Во второй декаде июля произошло значительное снижение температуры воздуха до 21,7 °С, сопровождавшееся обильными осадками – 46 мм, что превысило среднемесячную норму на 39 мм. В результате улучшение погодных условий во время налива зерна способствовало формированию полноценного зерна.

В 2024 г. погодные условия отличались повышенной влажностью. Среднесуточная температура в мае составила 12,3 °С, что оказалось ниже на 3 °С средних многолетних значений. Помимо низких температур, происходило обильное выпадение осадков – 39 мм при среднемноголетней норме 27 мм. После майских холодов в первой и второй декадах июня началась аномальная жара, среднесуточная температура воздуха достигла 22,4, и 26,9 °С, что на 3,5 и 6,1 °С выше среднемноголетней нормы. В третьей декаде июня произошло резкое похолодание температуры воздуха до 17,9 °С, сопровождавшееся обильным выпадением ливневых осадков в количестве 57 мм, что превысило норму более чем в 4 раза. На смену прохладной погоде в конце июня и в первой декаде июля пришла новая волна жары – до 24,5 °С. Со второй декады июля и до конца августа температурный режим стабилизировался и был близок к норме, с периодическими осадками.

Суммарное количество осадков на опытном поле за период с мая по август составило 204 мм, что существенно превышает норму (128 мм). Превышение нормативных значений

наблюдалось по всем месяцам: в мае выпало 39 мм (норма – 27 мм), в июне – 71 мм (норма – 37 мм), в июле – 53 мм (норма – 39 мм), в августе – 41 мм (норма – 32 мм).

Анализ гидротермического коэффициента (ГТК) показал существенные различия между годами исследований. В 2023 г. ГТК в мае составил 0,31, что указывает на засушливые условия в начале вегетации. В июне показатель несколько увеличился – до 0,41, а в июле – до 0,52, что свидетельствует о сохраняющемся дефиците влаги. В августе осадки отсутствовали, ГТК равнялся 0, что подчеркивает остроту засухи в этот период.

В 2024 г. картина была совершенно иной. ГТК в мае составил 0,74, что отражает достаточное увлажнение почвы. В июне значение ГТК достигло 1,2, что указывает на избыточное увлажнение. Аналогичная ситуация наблюдалась и в июле, когда ГТК составил 1,27. В августе показатель несколько снизился – до 1,17, но по-прежнему свидетельствовал об оптимальном уровне влажности.

Анализ качества зерна проводили в лаборатории селекционно-генетических исследований в растениеводстве с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (<https://ckr-rf.ru>). Для оценки качественных показателей зерна у каждого генотипа было собрано по 250 г зрелых зерен. Процент стекловидных зерен и массу 1000 семян оценивали согласно ГОСТ 10987-76 и ГОСТ 12042-80.

Образцы цельнозерновой муки были получены с помощью лабораторной мельницы и впоследствии использовались для определения белка – ГОСТ 31463-2012, клетчатки – ГОСТ 31675-2012, жира – ГОСТ 13496.15-2016, золы – ГОСТ 26226-95, фосфора – ГОСТ 26657-97, калия и кальция – ГОСТ 32343-2013. Содержание клейковины и ИДК – ГОСТ Р 54478-2011, число падения – ГОСТ 27676-88. Количество сырой и сухой клейковины и индекс глютена в манной крупке определяли по ГОСТ ISO 21415-2-2019 с использованием комплекта оборудования марки Bastak 6000-6100 (Турция). Манную крупку получали с помощью вальцевой мельницы Rolermaks (Турция) методом отжига зерна твердой пшеницы в воде до влажности 16,5 %. Количество клейковины определяли промывкой в 2%-м солевом растворе (NaCl) с помощью аппарата Glutomatik 6100, а затем центрифугировали при 6000 об/мин, чтобы пропустить

влажную клейковину сквозь специально сконструированное сито. Процентное содержание сырой клейковины, измеренное после центрифугирования, использовали в качестве показателя количества сырой клейковины. Отношение массы клейковины, оставшейся после центрифугирования на сите, к общей массе отмытой клейковины соответствует индексу глютена. В очень слабых образцах глютена все вещества проходят сквозь сито ($ИГ = 0$), когда ничего не проходит ($ИГ = 100\%$). Массу сухой клейковины получали путем повторного взвешивания общей массы клейковины после высушивания на индексном устройстве Dry Gluter 2500 при температуре выше 150°C в течение 4 мин. Процентное содержание сухой клейковины рассчитывали по следующей формуле: масса сухой клейковины, полученной после высушивания, делили на массу навески

муки, использованной для анализа, и умножали на 100 %. Анализ статистической связи погодных характеристик с продуктивностью и качеством зерна проводили по матрице парных коэффициентов корреляции, рассчитанных по временным рядам (2023–2024 гг.) в программе Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение. Урожайность яровой твердой пшеницы за два года исследования (2023–2024 гг.) изменилась в зависимости от сорта и метеорологических условий, что указывает на разную степень адаптивности. Сорт Безенчукская золотистая превзошел по этому показателю сорта Целинница и Луч 25, показав лучшие результаты как при дефиците влаги, так и при ее избытке. В 2023 г. урожайность увеличилась на 9,5 и 15 % ($\text{НСР}_{05} = 0,9 \text{ т/га}$), а в 2024 г. – на 29,9 и 23,4 % ($\text{НСР}_{05} = 0,51 \text{ т/га}$) соответственно.



Рис. 1. Урожайность и технологические свойства зерна яровой твердой пшеницы (средние за 2023–2024 гг.)
Fig. 1. Productivity and technological properties of spring durum wheat grain (mean in 2023–2024)

Аналогичная тенденция наблюдалась и по показателю массы 1000 зерен: если в засушливом 2023 г. этот показатель варьировал от 27,6 до 31,2 г, то в 2024 г. он составил 33,4–36,4 г. Наименьшее значение было зафиксировано у сорта Целинница, а наибольшее – у сорта Безенчукская золотистая.

Достоверной сортовой разницы по показателю стекловидности зерна яровой твердой пшеницы обнаружено не было. Однако в условиях засухи данный показатель находился в пределах 79–80 %, а в условиях переувлажнения – 70–77 % ($\text{НСР}_{05} = 0,3 \text{ %}$).

Анализ химического состава зерна имеет первостепенное значение для определения качества муки и как следствие – качества макаронных изделий. Ключевыми компонентами, формирующими характеристики зерна, являются белки, жиры, углеводы и минеральные вещества. Их содержание напрямую влияет на технологические свойства зерна и реологические свойства теста. Результаты химического анализа зерна яровой твердой пшеницы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав зерна яровой твердой пшеницы (среднее за 2023–2024 гг.)
Table 2. Chemical composition of spring durum wheat grain (mean in 2023–2024)

Показатели	Сорт						Среднее	НСР_{05}		
	Безенчукская золотистая		Целинница		Луч 25					
	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.				
Массовая доля белка, %	11,7	10,3	11,2	9,0	10,7	9,8	10,4	0,7		
Массовая доля сухого вещества, %	94,0	86,0	94,0	86,0	93,5	87,5	90,2	5,4		
Массовая доля клетчатки, %	0,9	0,5	0,9	0,5	0,9	0,5	0,7	0,04		
Массовая доля жира, %	3,5	2,3	1,9	1,3	1,5	2,1	2,1	0,2		
Массовая доля сырой золы, %	2,7	2,1	1,1	0,9	2,2	2,1	3,7	0,2		
Содержание фосфора, %	0,08	0,02	0,07	0,04	0,08	0,04	0,05	0,02		
Содержание калия, мг/кг	3320,0	2560,0	2610,0	2895,0	3085,0	3140,0	3448,6	51,0		
Содержание кальция, мг/кг	510,5	500,2	374,3	417,2	376,3	407,1	426,4	10,6		

Содержание белка в зерне находилось в пределах 9,0–11,7 %. При этом максимальные значения отмечены в 2023 г., когда количество выпавших осадков за период вегетации было наименьшим. Внутрисортовые колебания были незначительными и не превышали 1,4 %. Содержание сухого вещества, фосфора и клетчатки также было одинаковым по сортам, но изменялось в зависимости от погодных условий. Процентное содержание жира находилось в пределах от 1,3 до 3,5 %, а золы – от 0,2 до 2,7 %. Наивысшие значения этих показателей были зафиксированы в засушливый 2023 г., а избыток влаги в 2024 г. привел к минимальному уровню.

В условиях высокого увлажнения у сортов Целинница и Луч 25 наблюдался рост содержания калия и кальция. Разница между годами по этим показателям составила 285,0 и 55,0 мг/кг для калия, 42,9 и 30,8 мг/кг для кальция соответственно.

Даже при умеренном уровне белка некоторые разновидности яровой твердой пшеницы могут создавать клейковину с высокими качественными характеристиками. Это обусловлено пропорциями глиадинов и глютенинов в белковом составе, а также их молекулярной массой и возможностью формировать устойчивые связи между молекулами. Разнообразие в аминокислотной композиции тоже имеет значение, так как определенные аминокислоты в большей степени способствуют образованию клейковины с упругими и эластичными свойствами.

Погодные условия также оказали заметное воздействие на количество клейковины и показатель ИДК. Максимальные значения были зафиксированы в засушливом 2023 г., а разница по сравнению с годом с избыточным увлажнением (2024 г.) у сорта Безенчукская золотистая составила 4 и 15 %, у Целинницы – 6 и 28 %, у Луч 25 – 7,2 и 16 % соответственно (рис. 2.).



Рис. 2. Показатели качества зерна (цельнозерновой муки) яровой твердой пшеницы (средние за 2023–2024 гг.)

Fig. 2. Quality indicators (whole-grain flour) of spring durum wheat grain (mean in 2023–2024)

Уровень активности альфа-амилазы демонстрировал непостоянство, зависящее от генотипа и погодных условий. При недостатке влаги этот параметр варьировал от 215 до 257 с, а при повышенной влажности – от 195 до 205 с. Самые высокие значения активности альфа-амилазы наблюдались у сорта

Безенчукская золотистая с годовой разницей в 52 %. Наименьшие значения были зафиксированы у сорта Луч 25, где годовая разница составила 20 %.

Содержание сырой и сухой клейковины – это важнейший показатель определения эластичности и прочности теста (рис. 3.).

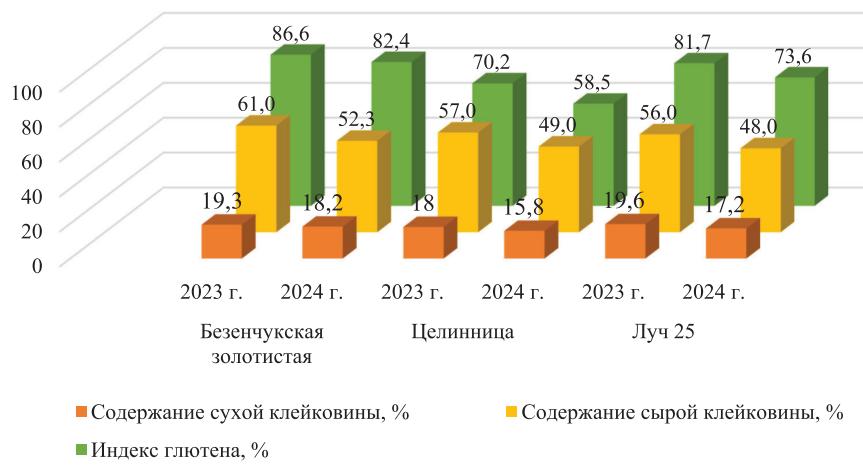


Рис. 3. Показатели содержания сырой и сухой клейковины, индекса глютена в манной крупке яровой твердой пшеницы (средние за 2023–2024 гг.)

Fig. 3. Indicators of crude and dry gluten percentage and gluten index in spring durum wheat semolina (mean in 2023–2024)

Так, в анализируемых образцах содержание сырой и сухой клейковины варьировало в условиях засухи в 2023 г. от 56 до 61 % и в 2024 г. – от 48 до 52,3 %, наибольшее значение приведенных данных были у сорта Безенчукская золотистая. Индекс глютена также зависел от влияния метеорологических условий и варьировал в 2023 г. от 81,7 до 86,6 %,

в 2024 г. – от 58,5 до 82,4 %. Наибольшее его значение было у сорта Безенчукская золотистая, а наименьшее – у сорта Целинница. Для установления наличия связи между показателями продуктивности и качества зерна и метеорологическими условиями, складывающимися в период вегетации, был проведен корреляционный анализ (табл. 3).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции (r) урожайности и показателей качества зерна с погодными условиями (2023–2024 гг.)

Table 3. Correlation coefficients (r) between grain productivity and quality indicators and weather conditions (2023–2024)

Месяц	Показатели						
	Урожайность, т/га	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %	ИДК, усл.ед.	Содержание сырой клейковины, %	Содержание сухой клейковины, %	Индекс глютена, %
Среднемесячная температура, °C							
Май	-0,14 ± 0,03	0,56 ± 0,06	0,31 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,35 ± 0,01	0,20 ± 0,03	0,13 ± 0,03
Июнь	-0,29 ± 0,09	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,23 ± 0,09	0,31 ± 0,02	0,09 ± 0,07	0,33 ± 0,02
Июль	-0,44 ± 0,14	0,40 ± 0,09	0,75 ± 0,3	0,26 ± 0,02	0,62 ± 0,04*	0,45 ± 0,02*	0,08 ± 0,01
Август	0,64 ± 0,17*	0,03 ± 0,01	0,34 ± 0,04	0,65 ± 0,03	0,11 ± 0,01	0,06 ± 0,04	0,38 ± 0,01
Осадки, мм							
Май	0,20 ± 0,04	-0,74 ± 0,04	-0,15 ± 0,04	-0,45 ± 0,06	-0,50 ± 0,04	-0,56 ± 0,03	-0,58 ± 0,01
Июнь	-0,36 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,25 ± 0,03	0,59 ± 0,03	0,36 ± 0,02
Июль	0,79 ± 0,02*	-0,78 ± 0,03*	-0,74 ± 0,03	-0,18 ± 0,04	-0,67 ± 0,01	-0,57 ± 0,02*	-0,35 ± 0,02
Август	-0,22 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01	-0,09 ± 0,01	0,19 ± 0,09	0,13 ± 0,01	-0,16 ± 0,01
Гидротермический коэффициент (ГТК)							
Май	0,47 ± 0,07	-0,97 ± 0,01	-0,62 ± 0,03	-0,95 ± 0,06	-0,23 ± 0,02	0,25 ± 0,02	-0,42 ± 0,07
Июнь	-0,52 ± 0,08	0,29 ± 0,07	0,48 ± 0,02	0,20 ± 0,04	0,32 ± 0,04	0,29 ± 0,02	0,22 ± 0,02
Июль	0,59 ± 0,08	-0,91 ± 0,04	-0,47 ± 0,01	-0,87 ± 0,07	-0,07 ± 0,01	-0,40 ± 0,03	-0,26 ± 0,02
Август	-0,14 ± 0,06	-0,65 ± 0,06	-0,23 ± 0,02	-0,80 ± 0,01	0,36 ± 0,08*	0,36 ± 0,09	-0,10 ± 0,04

Примечание. * – значимо при $p \leq 0,05$.

При определении взаимосвязи урожайности с температурным режимом и влагообеспеченностью в разные периоды вегетации установлена высокая корреляционная связь со среднесуточной температурой воздуха в августе: $r = 0,64$ ($p \leq 0,05$), осадками и ГТК – в июле: $r = 0,79$ и $r = 0,59$. На содержание белка положительно влияла среднесуточная температура воздуха в мае и июле: $r = 0,56$ и $r = 0,40$, в то время как осадки ГТК в эти месяцы оказывали негативное воздействие: $r = -0,74$ и $r = -0,97$, $r = -0,78$ и $r = 0,91$ соответственно. Наиболее существенная корреляция содержания клейковины в зерне с увеличением температур проявилась в июле: $r = 0,75$, а отрицательная связь с осадками: $r = -0,74$, и ГТК $r = -0,62$ и $r = -0,47$ – в мае и июле соответственно. На показатель ИДК оказывает существенное влияние температура воздуха в августе: $r = 0,65$ и отрицательное действие – осадки в мае: $r = 0,45$ и ГТК в мае $r = -0,95$, июле $r = -0,87$ и августе $r = 0,80$ соответственно. С содержанием сырой и сухой клейковины установлена тесная достоверная связь с температурой воздуха в июле: $r = 0,62$ и $r = 0,45$, а с количеством осадков достоверной связи не было обнаружено, но значимая отрицательная корреляция с осадками была выявлена в мае: $r = -0,50$ $r = 0,56$ и июле: $r = -0,67$ – $0,57$ ($p \leq 0,05$) соответственно.

Среднесуточная температура воздуха в июне и августе имела умеренную корреляционную связь с индексом при $r = 0,33$ и $r = 0,38$, осадками в июне: $r = 0,36$, с ГТК отрицательная умеренная связь отмечена в июле: $r = -0,42$ и слабая в мае: $r = -0,26$.

Выводы. Проведенные исследования выявили значительное влияние погодных факторов вегетационного периода на урожайность и качество зерна яровой твердой пшеницы в условиях резко континентального климата. Сорт Безенчукская золотистая отличился повышенной адаптивностью к данным колебаниям, демонстрируя наивысшую продуктивность как при дефиците влаги – 1,5 т/га, так и при ее избытке – 2,3 т/га. Качество зерна яровой твердой пшеницы также претерпевает изменения в зависимости от метеорологических факторов. Содержание белка варьировалось от 9,01 до 11,69 %, количество клейковины – от 19,3 до 34 %, ИДК – от 41 до 65 условных единиц, а индекс глютена – от 58,5 до 86,6 %. Наилучшие показатели продемонстрировал сорт Безенчукская золотистая.

Корреляционный анализ указал на заметное влияние количества осадков в июле $r = 0,79$ и гидротермического коэффициента $r = 0,59$ на урожайность. На качество зерна и манной крупы благоприятно влияют среднесуточ-

ные температуры воздуха. Содержание белка и клейковины в зерне тесно связано с температурой воздуха в июле: $r = 0,40$ и $r = 0,75$ соответственно, в то время как дожди в этот месяц оказывают отрицательное действие. Содержание сырой и сухой клейковины в манной крупе во многом определяется средней температурой июля: $r = 0,62$ и $r = 0,45$ соответственно,

$r \leq 0,05$, осадками и ГТК в июне: $r = 0,24$ и $r = 0,32$, $r = 0,59$ и $r = 0,29$ соответственно. Индекс глютена также имеет заметную связь с температурой воздуха в июле $r = 0,33$ и уровнем осадков $r = 0,36$.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках государственного задания № FNWZ-2022-0015 ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН.

Библиографический список

1. Васин В.Г., Бурунов А.Н., Стрижаков А.О. Формирование агрофитоценоза и продуктивность яровой твердой пшеницы при применении минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1(53). С. 25–32. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-25-32
2. Гончаров С.В., Курашов М.Ю. Перспективы развития российского рынка твердой пшеницы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 2(57). С. 66–75. DOI: 10.17238/2071-2243.2018.2.66
3. Демина И.Ф. Влияние погодных условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 4. С. 433–440. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440
4. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Пахотина И.В. Основные тенденции урожайности и качества зерна яровой твердой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2021. № 4. С. 33–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-33-41
5. Ложкин А.Г., Дмитриев В.Л., Мальчиков А.П. Влияние норм высеяния семян на продуктивность яровой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-83-88
6. Мухитов Л.А., Тимошенкова Т.А. Сорта яровой твердой пшеницы, адаптированные к условиям степи Уральского региона // Известия Оренбургского государственного университета. 2021. № 3(89). С. 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19
7. Подласова Е.Ю., Новикова А.А. Оценка сортов яровой твердой пшеницы оренбургской селекции по показателям качества и количества клейковины // Известия НВ АУК. 2024. № 4(76). С. 186–193. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-04-20
8. Розова М.А., Мухин Н.В. Влияние погодных условий на содержание в зерне яровой твердой пшеницы белка, клейковины и ее качество в условиях Приобской лесостепи Алтайского края // Достижение науки и техники АПК. 2015. Т. 29, № 8. С. 58–61.

Referensis

1. Vasin V.G., Burunov A.N., Strizhakov A.O. Formirovaniye agrofitotsenoza i produktivnost' yarovoii tverdoi pshenitsy pri primenenii mineral'nykh udobrenii [Formation of agrophytocenosis and productivity of spring durum wheat with the use of mineral fertilizers] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2021. № 1(53). S. 25–32. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-25-32
2. Goncharov S.V., Kurashov M.Yu. Perspektivnye razvitiya rossiiskogo rynka tverdoi pshenitsy [Prospects for the development of the Russian durum wheat market] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 2(57). S. 66–75. DOI: 10.17238/2071-2243.2018.2.66
3. Demina I.F. Vliyanie pogodnykh uslovii na urozhainost' i kachestvo zerna yarovoii pshenitsy v lesostepi Srednego Povolzh'ya [The effect of weather conditions on productivity and grain quality of spring wheat in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022; 4: S. 433–440. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.433-440
4. Evdokimov M.G., Yusov V.S., Pakhotina I.V. Osnovnye tendentsii urozhainosti i kachestva zerna yarovoii tverdoi pshenitsy v usloviyakh yuzhnoi lesostepi Zapadnoi Sibiri [Key trends in productivity and grain quality of spring durum wheat in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 4. S. 33–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-4-33-41
5. Lozhkin A.G., Dimitriev V.L., Mal'chikov A.P. Vliyanie norm vyseva semyan na produktivnost' yarovoii tverdoi pshenitsy [The effect of seeding rates on spring durum wheat productivity] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. Т. 16, № 1. S. 83–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-83-88
6. Mukhitov L.A., Timoshenkova T.A. Sorta yarovoii tverdoi pshenitsy, adaptirovannye k usloviyam stepi Ural'skogo regiona [Spring durum wheat varieties adapted to the steppe conditions of the Ural region] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021. № 3(89). S. 15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-3-15-19
7. Podlasova E.Yu., Novikova A.A. Otsenka sortov yarovoii tverdoi pshenitsy orenburgskoi selektsii po pokazatelyam kachestva i kolichestva kleikoviny [Estimation of spring durum wheat varieties developed in Orenburg for gluten quality and quantity] // Izvestiya NV AUK. 2024. № 4(76). S. 186–193. DOI: 10.32786/2071-9485-2024-04-20
8. Rozova M.A., Mukhin N.V. Vliyanie pogodnykh uslovii na soderzhanie v zerne yarovoii tverdoi pshenitsy belka, kleikoviny i ee kachestvo v usloviyakh Priobskoi lesostepi altaiskogo kraya [The effect of weather conditions on protein, gluten and quality of spring durum wheat grain in the Ob forest-steppe of the Altai Territory] // Dostizhenie nauki i tekhniki APK. 2015. Т. 29, № 8. S. 58–61.

Поступила: 30.05.25; доработана после рецензирования: 22.07.25; принята к публикации: 23.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Подласова Е.Ю. – концептуализация и проектирование исследования, подготовка рукописи; Новикова А.А. – выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОГО КРЫМА

Л.А. Радченко, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, radchenkolydmila@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7410-1870;

А.П. Позднякова, младший научный сотрудник лаборатории семеноводства и сортоизучения новых генотипов, annochka.pozdnyakova@indox.ru, ORCID 0009-0007-4973-9526;

Е.Н. Ростова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории исследований технологических приемов в животноводстве и растениеводстве, lizunau@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0620-2423;

Н.С. Овчаренко, кандидат биологических наук, научный сотрудник информационно-аналитической лаборатории, nadezhda_ovcharenko@mail.ru, 0000-0001-8351-9120 ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д. 150; e-mail: isg.krym@gmail.com

Почвенно-климатические условия Крыма, несмотря на их жесткость, являются благоприятными для возделывания твердой пшеницы, однако ее площади минимальны, что связано не только с экономическими причинами, но и с незнанием свойств новых сортов, районированных за последние годы. Цель исследований – оценить продуктивность и хозяйственно полезные качества перспективных сортов озимой твердой пшеницы для выделения наиболее устойчивых в аридных условиях Крыма. Полевые опыты закладывали в 2022–2024 гг. в центральной степной зоне полуострова на опытном участке ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Клепинино). Исследования проводили на пяти сортах озимой твердой пшеницы селекции ФГБНУ АНЦ «Донской», стандартом выступал сорт Лакомка. Площадь опытной делянки 25 м², повторность четырехкратная, предшественник черный пар, норма высева – 4 млн всходов зерен на гектар. Закладку опытов и статистическую обработку выполняли по методике Б.А. Доспехова и Методике госсортоспытания. Установлено, что в среднем за годы изучения максимальное количество продуктивных стеблей формировал сорт Придонье (324 шт./м²), а наиболее полновесным колосом характеризовался сорт Хризолит – 1,7 г. Эти же сорта формировали и максимальную урожайность в опыте (4,59 и 4,56 т/га соответственно). По технологическим показателям зерно изучаемых сортов соответствовало уровню 3 и 4-го классов качества. Корреляционный анализ показал, что на показатели продуктивности пшеницы оказали влияние все структурные элементы. Сильная положительная связь урожайности культуры отмечена с массой 1000 зерен, массой зерна с колоса и количеством продуктивных стеблей ($r = 0,84; 0,68$ и $0,69$ соответственно).

Ключевые слова: твердая пшеница, погодные условия, урожайность, продуктивный стеблестои, колос, качественные показатели.

Для цитирования: Хозяйственно полезные свойства перспективных сортов озимой твердой пшеницы в условиях степного Крыма // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 90–96. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-90-96.



ECONOMICALLY VALUABLE PROPERTIES OF PROMISING WINTER DURUM WHEAT VARIETIES IN THE CRIMEAN STEPPE

Л.А. Radchenko, Candidate of Agricultural Sciences, deputy director on scientific work, radchenkolydmila@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7410-1870;

А.П. Pozdnyakova, junior researcher of the Laboratory of Seed Growing and Strain Investigation of New Genotypes, annochka.pozdnyakova@indox.ru, ORCID 0009-0007-4973-9526;

Е.Н. Rostova, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the Laboratory of Technological Methods in Animal Husbandry and Crop Production Research, lizunau@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0620-2423;

Н.С. Ovcharenko, Candidate of Biological Sciences, researcher of the Information and Analysis Laboratory, nadezhda_ovcharenko@mail.ru, 0000-0001-8351-9120.

FSBSI "Research Institute of Agriculture in Crimea", 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Str., 150; e-mail: isg.krym@gmail.com

Soil and climate conditions of Crimea, despite their harshness, are favorable for durum wheat cultivation, but its acreage is minimal, which is due not only to economic reasons, but also to a lack of knowledge about the properties of new varieties that have been developed in recent years. The purpose of the current study was to estimate productivity and economic benefits of promising winter durum wheat varieties to identify those most tolerant to the aridity of Crimea. Field trials were conducted in the central steppe area of the peninsula at the experimental site of the FSBSI "RIA in Crimea" (v. of Klepinino) in 2022–2024. There have been studied five winter durum wheat varieties developed in the FSBSI "ARC "Donskoy", compared with the standard variety 'Lakomka'. The experimental plot was of 25 m², fourfold repetition, the wheat was sown in weedfree fallow with a seeding rate of 4 million g.k. per hectare. The trials and statistical analysis were performed according to the methodology of B.A. Dospekhov and the State Variety Testing. There has been established that over the years of study, the variety 'Pridonie' formed the max-

imum number of productive stems (324 pcs/m²), and the variety 'Khrizolit' was characterized by the most full-weight ear of 1.7 g. These varieties have also formed the maximum productivity in the trials (4.59 and 4.56 t/ha, respectively). According to technological parameters, the grain of the studied varieties corresponded to the 3-d and 4-th quality classes. Correlation analysis has shown that all structural elements influenced wheat productivity. There was a strong positive correlation between productivity and 1000-kernel weight, grain weight per ear, and a number of productive stems ($r = 0.84, 0.68$, and 0.69 , respectively).

Keywords: durum wheat, weather conditions, productivity, productive stand, ear, quality indicators.

Введение. Твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.) – одна из нишевых культур на полях России, поэтому официальная статистика не предоставляет данных о ее производстве. Можно сказать, что ежегодная потребность в зерне сортов твердой пшеницы, составляющая около 2 млн т, не покрывается площадями ее возделывания (до 1 млн) и валовым сбором, который составляет более 1,2 млн. Мировой рынок зерна пшеницы превышает 4 млн тонн. Таким образом, наблюдается существенный недостаток посевных площадей данной культуры, спрос на которую растет во всем мире (Гончаров, Курашов, 2018).

Значимость зерна твердых сортов пшеницы трудно переоценить – его используют для производства высококачественной итальянской пасты, иных макаронных изделий, манной крупы. Специалисты подсчитали, что пшеница типа durum является наиболее востребованной – более половины сбора идет в макаронную отрасль промышленности. На Ближнем Востоке и в Северной Африке ее используют для приготовления широко распространенных блюд (булгура, лапши, кускуса), а также выпекания разнообразных вариантов плоского хлеба (Di Paola et al., 2020). Зерно твердой пшеницы необходимо при производстве высококачественных продуктов детского и диетического питания (Фризен и др., 2024).

В России яровая твердая пшеница имеет больший ареал распространения, чем озимая. Формирование низкой по сравнению с озимой пшеницей урожайности можно объяснить биологическими свойствами последней. Растения твердой озимой пшеницы более продуктивные, по качеству зерна не уступают яровой (Подлесных, Кадыров, 2022). При создании необходимых условий потенциал продуктивности твердой пшеницы, существенно превосходящий яровую, может обеспечить более высокие урожаи, которые обычно дают яровые сорта (Стасюк и др., 2021). По литературным данным, урожайность сортов и линий озимой твердой пшеницы, произрастающих в Ростовской области, в условиях 2021–2023 гг. варьировала в пределах от 7,86 т/га (стандарт Кристелла) до 9,42 т/га у сорта Графит (Иваникова, Марченко, 2024). Однако в последние годы производители получают зерно твердой пшеницы 4 и 5-го классов качества, а зерно 1 и 2-го классов практически отсутствует (Ложкин и др., 2021).

Общеизвестно, что стабильность производства зерна любых сельскохозяйственных культур в целом, а твердой пшеницы в частности, в основном зависит от погодных условий вегетационного периода, технологии возделы-

вания и способности растений сохранять высокий уровень урожайности и качества зерна при воздействии в неблагоприятных климатических условиях среды (Кирьякова и др., 2022).

Почвенно-климатические условия Крымского полуострова, несмотря на их жесткость, являются благоприятными для возделывания твердой пшеницы высокого качества. На протяжении двух тысячелетий зерно крымской твердой пшеницы пользовалось большим спросом на внешнем рынке, что определялось его высокой стекловидностью и количеством клейковины (Николаев, 2004). Однако в последние годы производство твердой пшеницы в Крыму резко сократилось, что объясняется, в первую очередь, экономическими факторами и отсутствием современного оборудования для промышленной переработки. Одной из причин, сдерживающих увеличение площадей под твердой пшеницей в Крыму, является незнание новых сортов, обладающих достаточно высоким потенциалом урожайности.

В современных условиях рынка, участниками которого являются как потребители, так и производители, возрастает необходимость в сортах, имеющих не только высокие хозяйственны ценные показатели качества зерна, но и обладающих устойчивостью к биологическим и климатическим стрессовым факторам. Таким образом, актуальными являются работы по созданию и выделению сортов, характеризующихся высокой экологической адаптивностью (Гапонов и др., 2024).

Цель исследований – оценить продуктивность и хозяйственное полезные качества перспективных сортов озимой твердой пшеницы для выделения наиболее устойчивых в аридных условиях Крыма.

Материалы и методы исследований.

Полевые опыты по изучению сортов озимой твердой пшеницы были заложены в 2022–2024 гг. на опытном участке ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма» (с. Клепинино, Красногвардейский район), расположенном в центральной степной зоне полуострова Крым. В исследовании использовали сорта ФГБНУ АНЦ «Донской»: Графит, Хризолит, Эллада, Придонье и Каротинка, стандартом выступал сорт Лакомка. Посев проводили во второй декаде октября.

Опытные делянки 25 м², размещение систематическое, повторность четырехкратная, предшественником под озимую твердую пшеницу выступал черный пар. Посев проводили нормой высева 4 млн всхожих зерен на гектар согласно общепринятой для зоны выращивания технологии возделывания озимой

пшеницы. Посев осуществляли селекционной сеялкой «Деметра», уборку – селекционным комбайном Wintersteiger Classic в фазе полной спелости с последующим взвешиванием зерна.

Учеты и наблюдения осуществляли согласно Методике государственного сортоиспытания (2019). Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили по методике Б.А. Доспехова (2014).

Почва участка представлена черноземом южным слабо гумусированным, развитым на четвертичных желто-бурых лессовидных легких глинах. Содержание гумуса в почве (по Тюрину) – 2,4–2,7 %, легкогидролизуемого азота (ГОСТ 26951-86) – 5,2 мг/100 г абсолютно сухой почвы, фосфора и калия (по Мачигину) – 1,0–2,5 мг и 42 мг/100 г почвы соответственно, кислотность – 7,7–7,9 ед. pH (ГОСТ 26483-85).

Климат района проведения исследований континентальный засушливый, характеризующийся большой амплитудой годовых колебаний температуры воздуха и неравномерным выпадением атмосферных осадков. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,2 °C. Сумма активных температур находится в пределах от 3300 до 3600 °C. Гидротермический коэффициент – 0,5–0,7. Среднее годовое количество осадков не превышает 426 мм.

Годы проведения опытов характеризовались контрастными метеорологическими условиями, что позволило определить их влияние на продуктивность и качество зерна изучаемых сортов твердой пшеницы.

Погодные условия вегетационного периода озимых культур 2022/2023 г. характеризовались повышенным температурным режимом (от 1,5 °C в январе до 4 °C в марте) и существенным недостатком влаги в осенне-зимний период. Продуктивные дожди в количестве 23 мм (164 % от декадной нормы) выпали только в третьей декаде ноября.

Прекращение осенней вегетации отмечено 19 декабря при среднемноголетней норме 2 декабря. Количество выпавших в декабре осадков составило 53 мм (143 % от среднемноголетней нормы), а январь, февраль и март характеризовались значительным их дефицитом, сопровождавшимся температурой воздуха на 3 °C выше нормы. В апреле выпали обильные осадки, сумма которых составила 79 мм (260 % нормы). Май и июнь были умеренно теплыми с выпадением осадков в пределах нормы.

Погодные условия вегетационного периода 2023/2024 г. были неблагоприятными. Предпосевной период проходил в крайне засушливых условиях, когда на фоне аномальной жары (на 5–7 °C выше среднемноголетней температуры) произошел значительный недобор осадков (1,8 % от нормы). Период без хозяйствственно полезных дождей длился более трех месяцев, начиная с августа и заканчивая второй декадой ноября.

Среднемесячная температура воздуха превышала климатическую норму на 3–7 °C в течение всего вегетационного периода (за исключением мая). Недостаток осадков наблюдали ежемесячно, кроме ноября, декабря и января. В ноябре выпало 156,2 мм осадков (473 % нормы), в декабре – в пределах нормы, а в январе – 69 мм (216 % нормы).

Повышенный температурный режим декабря и первой декады января способствовал позднему прекращению осенней вегетации, которое отмечено только 9 января 2024 года. Третья декада января и первая декада февраля характеризовались перепадами температуры воздуха – от отрицательных до положительных, что при чрезмерно увлажненной почве привело к изреживанию и частичной гибели растений озимых культур в результате выпирания.

Февраль и весенние месяцы были теплыми и сухими. Среднесуточные температуры воздуха превысили многолетние показатели в феврале на 6,3, марте – на 3,4, апреле – на 5,8 °C. Количество осадков в феврале составило 7 мм (24 % нормы), в марте – 4 мм (13 %), апреле – 7 мм (25 %), мае – 9 мм (26 %), первой декаде июня – 1,1 мм (5,5 %). За период весенней вегетации не отмечено ни одного хозяйствственно полезного дождя.

Погодно-климатические данные за годы исследований представлены на основании оперативных агробюллетней метеостанции Клепинино.

Результаты и их обсуждение. В условиях 2022 г. всходы пшеницы получены через 25 дней после посева, 2023 г. – через 40 дней, однако перед прекращением осенней вегетации растения находились в одинаковой фазе развития – 3 листа.

Изучаемые сорта также различались по спелости, о чем свидетельствует наступление фазы колошения в разные сроки. По мнению Г.Д. Набокова (2001), фаза колошения является наиболее надежной характеристикой сорта относительно приспособленности его к эколого-географическим условиям.

Наступление основных фаз развития и длительность периода созревания в значительной степени зависели от погодных условий года. Высокие температуры в период с февраля по апрель 2024 г. и раннее возобновление весенней вегетации (9 февраля) способствовали раннему наступлению (на три недели раньше среднемноголетних сроков) фаз выхода в трубку и колошения озимой пшеницы. На сортах Эллада и Придонье полное колошение отмечалось 16 и 1 мая в 2023 и 2024 г. соответственно. Наиболее поздними были сорта Хризолит и Каротинка, фаза колошения которых отмечена на 3–4 дня позже ранних сортов.

Основными показателями продуктивности, от которых зависит урожайность, являются продуктивный стеблестоц, количество зерен с колоса и их масса. Количество продуктивных стеблей на квадратном метре в среднем по сортам составило 331 и 234 шт. в 2023 и 2024 гг. соответственно (табл. 1). В 2024 г. этот показатель был на 29 % ниже в связи с изреживанием рас-

тений вследствие выпирания. Достоверных различий по величине продуктивного стеблестоя сортов пшеницы в 2023 г. не наблюдалось, а в 2024-м на сортах Графит, Хризолит

и Придонье отмечена прибавка в сравнении со стандартом на 117, 110 и 99 шт./м² соответственно при НСР₀₅ = 93,25.

Таблица 1. Показатели продуктивности сортов озимой твердой пшеницы (2023–2024 гг.)
Table 1. Productivity indicators of winter durum wheat varieties (2023–2024)

Сорт	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²			Количество зерен в колосе, шт.			Масса зерна с колоса, г		
	2023 г.	2024 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	среднее
Лакомка, ст.	330	168	249	37	38	37,5	1,8	1,4	1,6
Графит	280	285	282	39	33	36,0	1,9	1,3	1,6
Хризолит	287	278	283	43	27	35,0	2,2	1,2	1,7
Эллада	336	254	295	35	29	32,0	1,7	1,2	1,5
Придонье	380	267	324	35	32	33,5	1,6	1,3	1,5
Каротинка	378	151	264	33	37	35,0	1,5	1,5	1,5
Среднее	331	234	283	37	33	34,8	1,8	1,3	1,6
НСР ₀₅	86,71	93,25		6,0	4,6		0,35	0,23	

Количество зерен и масса зерна с колоса были максимальными (43 шт. и 2,2 г) в 2023 г. на сорте Хризолит, достоверно превысив стандарт (НСР₀₅ = 6,0 и 0,35). В 2024 г. количество зерен в колосе находилось в пределах от 27 (Хризолит) до 38 (Лакомка) шт., а масса зерна с колоса – от 1,2 г на сортах Хризолит и Эллада до 1,5 г на сорте Каротинка, однако показатели достоверно не превышали стандарт. В среднем по сортам показатели количества зерен и массы зерна с колоса в 2023 г. превышали таковые в 2024 г. на 11 и 28 % соответственно.

В среднем за два года максимальное количество продуктивных стеблей формировалось на сорте Придонье и составило 324 шт./м², наиболее полновесный колос отмечен на сорте Хризолит – 1,7 г.

Урожайность сортов – основной показатель, определяющий их продуктивность. В 2023 г. средняя урожайность твердой пшеницы составила 5,56 т/га с варьированием показателей от 5,07 т/га у сорта Графит до 5,90 т/га у сорта Хризолит, достоверно превышая стандарт (НСР₀₅ = 0,52) (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность и масса 1000 зерен сортов озимой твердой пшеницы (2023–2024)
Table 2. Productivity and 1000-grain weight of winter durum wheat varieties (2023–2024)

Сорт	Урожайность, т/га			Масса 1000 зерен, г		
	2023 г.	2024 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	среднее
Лакомка, ст.	5,34	2,08	3,71	46,8	36,0	41,4
Графит	5,07	3,57	4,32	45,6	40,8	43,2
Хризолит	5,90	3,22	4,56	47,6	45,5	46,6
Эллада	5,72	2,81	4,27	46,6	40,7	43,7
Придонье	5,83	3,35	4,59	45,9	41,9	43,9
Каротинка	5,52	2,57	4,05	46,1	38,7	42,4
Среднее	5,56	2,93	4,25	46,4	40,6	43,5
НСР ₀₅	0,52	0,57		3,28	3,19	

В условиях 2024 г. средняя урожайность сортов твердой пшеницы составила 2,93 т/га, данный показатель на 47 % ниже, чем в 2023 году. Четыре сорта показали статистически значимое превышение урожайности в сравнении со стандартом (НСР₀₅ = 0,57), которое составило от 0,73 т/га у сорта Эллада до 1,49 т/га у сорта Графит. В среднем за годы исследований стандартный сорт Лакомка обеспечил минимальную урожайность в опыте – 3,71 т/га. Урожайность изучаемых сортов озимой твердой пшеницы была выше стандарта от 0,34 т/га у сорта Каротинка до 0,88 т/га у сорта Придонье.

Важным показателем продуктивности сортов пшеницы является масса 1000 зерен. Для твердой пшеницы этот показатель особенно значимый, так как для производства крупы выполненнность и крупность зерна яв-

ляется одним из важнейших критериев качества. В условиях 2023 г. масса 1000 зерен составляла в среднем 46,4 г (45,6 г у сорта Графит, 47,6 г у сорта Хризолит) и находилась на уровне стандарта. В 2024 г. масса 1000 зерен составила 40,6 г в среднем по опыту, и четыре сорта достоверно превысили стандарт по этому показателю (НСР₀₅ = 3,19). Максимальное значение показателя «масса 1000 зерен» отмечено на сорте Хризолит (45,5 г).

В среднем за годы исследований сорт Хризолит характеризовался максимальной массой 1000 зерен, которая составила 46,6 г и на 5,2 г превысила стандарт.

Качественные показатели – основные в характеристике сортов твердой пшеницы, но они в значительной степени зависят от почвенно-климатических условий. Установлено, что засуха способствует увеличению белка

в зерне, а избыточное увлажнение в период после колошения до начала восковой спелости зерна приводит к снижению содержания белка и клейковины. Таким образом, создание оптимального увлажнения способствует оптимальному накоплению белка и получению урожая с хорошими технологическими качествами зерна (Бирюкова и др., 2020).

Более высокие показатели качества зерна отмечены нами в условиях 2024 г., который характеризовался засушливыми условиями. Содержание протеина в среднем по сортам в 2023 г. составило 10,4 %, в 2024 г. – 11,8 %, что на 13% выше, однако достоверной разницы по этому показателю на изучаемых сортах не отмечено (табл. 3). Массовая доля клейковины, содержащейся в муке твердой пшеницы, составила в среднем по сортам 18,7 и 22,5 %

в 2023 и 2024 гг. с варьированием в 2,4 и 1 % соответственно.

Важным показателем для зерна твердой пшеницы является стекловидность. Зерно с высокой стекловидностью обеспечивает более высокий выход крупы, которая при варке сохраняет форму и не разваривается (Жаркова, 2021).

Стекловидность зерна в среднем по сортам составила 72 и 70 %, однако отличалась высокой вариабельностью – от 65 % на сорте Хризолит до 83 % на сорте Придонье условиях 2023 г. и до 77 % на сорте Каротинка в 2024 году. Сорта Графит и Придонье по стекловидности превысили стандарт на 5 и 14 % в 2023 г., что является достоверным ($HCP_{05} = 4,3$), а сорт Каротинка – на 7 % в 2024 г. ($HCP_{05} = 3,9$).

Таблица 3. Показатели качества сортов озимой твердой пшеницы (2023–2024)
Table 3. Quality indicators of winter durum wheat varieties (2023–2024)

Сорт	Протеин (% acv)			Клейковина (% acv)			Стекловидность, %		
	2023 г.	2024 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	среднее
Лакомка, ст.	10,1	12,0	11,0	18,1	23,1	20,6	69	72	70,5
Графит	10,5	11,8	11,2	19,1	22,6	21,0	74	72	73,0
Хризолит	10,2	11,4	10,8	18,4	21,6	20,0	65	65	65,0
Эллада	10,1	11,9	11,0	18,1	23,0	20,6	67	66	66,5
Придонье	10,2	11,6	10,9	18,4	22,1	20,3	83	69	76,0
Каротинка	11,1	11,8	11,5	20,5	22,7	21,6	72	77	74,5
Среднее	10,4	11,8		18,7	22,5		72	70	
HCP_{05}	1,10	1,01		2,95	2,63		4,3	3,9	

В среднем за два года исследований максимальные показатели по содержанию протеина и клейковины (11,5 и 21,6 %) отмечены на сорте Каротинка, по стекловидности (76 %) – на сорте Придонье.

На основании оценки технологических показателей качества зерна и в соответствии с ГОСТ 9353-2016 (Пшеница. Технические условия) зерно сортов озимой твердой пшеницы Лакомка, Графит и Каротинка урожая 2024 г. соответствуют 3-му классу качества. Зерно сортов Хризолит, Эллада и Придонье урожая 2024 г., а также всех изучаемых в опыте сортов урожая 2023 г. соответствуют 4-му классу качества.

Корреляционный анализ показал, что в условиях исследуемых лет на продуктивность пшеницы оказали влияние все структурные показатели. Сильная положительная связь урожайности культуры отмечена с массой 1000 зерен (коэффициент корреляции составил 0,84), количеством продуктивных стеблей ($r = 0,69$) и массой зерна с колоса ($r = 0,68$), средняя – с количеством зерен в колосе ($r = 0,38$) (табл. 4). На хорошо распустившихся растениях формируется более полновесное зерно, о чем свидетельствует высокая положительная корреляция между количеством продуктивных стеблей и массой 1000 зерен ($r = 0,68$).

Таблица 4. Корреляционные связи между урожайностью и элементами структуры урожая сортов озимой твердой пшеницы (2023–2024)
Table 4. Correlations between productivity and yield structure elements of winter durum wheat varieties (2023–2024)

Показатель	Урожайность, т/га	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	0,69*	–	–	–
Количество зерен в колосе, шт.	0,38	-0,09	–	–
Масса зерна с колоса, г	0,68*	0,22	0,86*	–
Масса 1000 зерен, г	0,84*	0,68*	0,06	0,45

Примечание. Данные приведены на 5%-м уровне значимости, * – на 1%-м уровне значимости.

Масса зерна с колоса в основном определяется количеством сформировавшихся зерен ($r = 0,86$), а полнота налива зерен в меньшей степени влияет на данный показатель (коэффициент корреляции составил 0,45).

Выводы. Все изучаемые сорта озимой твердой пшеницы показали значительную зависимость показателей от погодных условий года. Урожайность в среднем по сортам составила 5,56 т/га в более благоприятных условиях

2023 г., а в неблагоприятном 2024 г. – 2,93 т/га, что на 47 % ниже. Максимальную урожайность в среднем за два года сформировали сорта Придонье и Хризолит – 4,59 и 4,56 т/га соответственно.

На основании оценки технологических показателей качества, сорта озимой твердой пшеницы Лакомка, Графит и Каротинка урожая 2024 г. соответствовали 3-му классу качества, зерно сортов Хризолит, Эллада и Придонье урожая 2024 г., а также всех изучаемых в опыте сортов урожая 2023 г. – 4-му классу качества.

Исследования показали, что на продуктивность пшеницы оказали влияние все структурные составляющие. Сильная положительная связь урожайности культуры отмечена с массой 1000 зерен ($r = 0,84$), с количеством продук-

тивных стеблей ($r = 0,69$) и массой зерна с колоса ($r = 0,68$), средняя – с количеством зерен в колосе ($r = 0,38$).

Изучаемые сорта озимой твердой пшеницы селекции ФГБУ АНЦ «Донской» являются достаточно устойчивыми к аридным условиям Крыма и в зависимости от погодных условий формируют стабильно высокую урожайность и зерно 3–4-го классов.

Финансирование. Исследования выполнены в рамках научной тематики Государственного задания № FNZW-2022-0001 «Разработать инновационные подходы управления производственным процессом сельскохозяйственных культур и оценить генетический потенциал новых сортов и селекционных номеров в аридных условиях Крыма».

Библиографический список

1. Бирюкова О.В., Бирюков К.Н., Кадушкина В.П. Влияние агротехнических приемов и экологических условий на качество зерна яровой твердой пшеницы // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2(34). С. 104–108. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11177
2. Гапонов С.Н., Шутарева Г.И., Цетва Н.М., Цетва И.С., Милованов И.В., Бурмистров Н.А., Жиганова Е.С., Соловова Н.С. Экологическая адаптивность сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) саратовской селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. № 185(1). С. 184–190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-184-190
3. Гончаров С.В., Курашов Г.М. Перспективы развития российского рынка твердой пшеницы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 2(57). С. 66–75. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Жаркова С.В. Показатели качества зерна сортов твердой пшеницы // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 2-1(53). С. 13–15. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-2-1-13-15
6. Иванисова А.С., Марченко Д.М. Использование селекционных индексов при оценке продуктивности озимой твердой пшеницы // Аграрная наука. 2024. № 385(8). С. 150–154. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154
7. Кирьякова М.Н., Юсов В.С., Евдокимов М.Г. Оценка адаптивной способности и взаимодействий генотипа и среды перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 2. С. 19–25. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-19-25
8. Ложкин А.Г., Мардарьева Н.В., Мардарьев С.Н. Продуктивность сортов твердой пшеницы в зависимости от норм высея в условиях Чувашской Республики // Вестник Российской университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021. Т. 16, № 4. С. 291–302. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-291-302
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. 329 с.
10. Набоков Г.Д. Наследование продолжительности вегетационного периода у озимой мягкой пшеницы // Пшеница и тритикале: Материалы научно-практической конференции «Зеленая революция П.П. Лукьяненко». Краснодар: Изд-во «Советская Кубань», 2001. С. 480–488.
11. Научное обоснование основных направлений развития агропромышленного комплекса Крыма в условиях рыночного производства // Под ред. Е.В. Николаева. Симферополь: Таврия, 2004. 312 с.
12. Подлесных Н.В., Кадыров С.Г. Потенциальная урожайность твердой озимой пшеницы и возможность ее возделывания в условиях ЦЧР // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15, № 3(74). С. 59–64. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_59
13. Стасюк А.И., Леонова И.Н., Пономарева М.Л., Василова Н.З., Шаманин В.П., Салина Е.А. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. № 56(1). С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.78rus
14. Фризен Ю.В., Некрасова Е.В., Гайвас А.А. Влияние отдельных элементов агротехнологии на продуктивность твердой пшеницы в южной лесостепи Омской области // Аграрная наука. 2024. № 379(2). С. 81–86. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-81-86
15. Di Paola, Ventura F., Vignudelli M., Bombelli A., Severini M.A generalized phonological model for durum wheat: application to the Italian peninsula // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. Vol.100(11). P. 4093–4100. DOI: 10.1002/jsfa.9864

References

1. Biryukova O.V., Biryukov K.N., Kadushkina V.P. Vliyanie agrotehnicheskikh priemov i ekologicheskikh uslovii na kachestvo zerna yarovoii tverdoi pshenitsy [The effect of agronomic practices

and environmental conditions on quality of spring durum wheat grain] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 2(34). S. 104–108. DOI: 10.24411/2309-348X-2020-11177

2. Gaponov S.N., Shutareva G.I., Tsetva N.M., Tsetva I.S., Milovanov I.V., Burmistrov N.A., Zhiganova E.S., Solovova N.S. Ekologicheskaya adaptivnost' sortov yarovoii tverdoi pshenitsy (*Triticum durum* Desf.) saratovskoi selektsii [Environmental adaptability of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) varieties grown in Saratov] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2024. № 185(1). S. 184–190. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-184-190

3. Goncharov S.V., Kurashov G.M. Perspektivy razvitiya rossiiskogo rynka tverdoi pshenitsy [Prospects for the development of the Russian durum wheat market] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 2(57). S. 66–75. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66

4. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [Methodology of a field trial (with basics of statistical analysis of the study results)]. Izd. 5-e, pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

5. Zharkova S.V. Pokazateli kachestva zerna sortov tverdoi pshenitsy [Grain quality indicators of durum wheat varieties] // Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2021. № 2-1(53). S. 13–15. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-2-1-13-15

6. Ivanisova A.S., Marchenko D.M., Ispol'zovanie selektsionnykh indeksov pri otsenke produktivnosti ozimoi tverdoi pshenitsy [Use of breeding indices in estimating winter durum wheat productivity] // Agrarnaya nauka. 2024. № 385(8). S. 150–154. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154

7. Kir'yakova M.N., Yusov V.S., Evdokimov M.G. Otsenka adaptivnoi sposobnosti i vzaimodeistvii genotipa i sredy perspektivnykh linii yarovoii tverdoi pshenitsy v usloviyakh Omskoi oblasti [Estimation of the adaptability and genotype-environment correlation of promising spring durum wheat lines in the Omsk region] // Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet). 2022. № 2. S. 19–25. DOI: 10.31677/2072-6724-2022-63-2-19-25

8. Lozhkin A.G., Mardar'eva N.V., Mardar'ev S.N. Produktivnost' sortov tverdoi pshenitsy v zavisimosti ot norm vyseva v usloviyakh Chuvashskoi respubliki [Productivity of durum wheat varieties depending on seeding rates in the Chuvash Republic] // Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2021. T. 16, № 4. S. 291–302. DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-4-291-302

9. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology for the State Variety Testing of agricultural crops]. M., 2019. 329 s.

10. Nabokov G.D. Nasledovanie prodolzhitel'nosti vegetatsionnogo perioda u ozimoi myagkoi pshenitsy [Inheritance of the vegetation period length of winter common wheat] // Pshenitsa i tritikale: Materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii «Zelenaya revolyutsiya P.P. Luk'yanenko». Krasnodar: Izd-vo «Sovetskaya Kuban'», 2001. S. 480–488.

11. Nauchnoe obosnovanie osnovnykh napravlenii razvitiya agropromyshlennogo kompleksa Kryma v usloviyakh rynochnogo proizvodstva [Scientific substantiation of the main development directions of the Crimean agro-industrial complex under market production] // Pod redaktsiei E.V. Nikolaeva. Simferopol': Tavriya, 2004. 312 s.

12. Podlesnykh N.V., Kadyrov S.G. Potentsial'naya urozhainost' tverdoi ozimoi pshenitsy i vozmozhnost' ee vozmozhnosti v usloviyakh TsChR [Potential durum winter wheat productivity and feasibility of its cultivation in the Central Blackearth region] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022 T. 15, № 3(74). S. 59–64. DOI: 10.53914/issn2071-2243_2022_3_59

13. Stasyuk A.I., Leonova I.N., Ponomareva M.L., Vasilova N.Z., Shamanin V.P., Salina E.A. Fenotipicheskaya izmenchivost' selektsionnykh linii myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) po elementam struktury urozhaya v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoi Sibiri i Tatarstana [Phenotypic variability of breeding lines of common wheat (*Triticum aestivum* L.) according to yield structure elements in the environmental conditions of Western Siberia and Tatarstan] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2021. № 56(1). S. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.78rus

14. Frizen Yu.V., Nekrasova E.V., Gaivas A.A. Vliyanie otdel'nykh elementov agrotehnologii na produktivnost' tverdoi pshenitsy v yuzhnoi lesostepi Omskoi oblasti [The effect of individual elements of agricultural technology on durum wheat productivity in the southern forest-steppe of the Omsk region] // Agrarnaya nauka. 2024. № 379(2). S. 81–86. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-81-86

15. Di Paola, Ventura F., Vignudelli M., Bombelli A., Severini M. A generalized phonological model for durum wheat: application to the Italian peninsula // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020. Vol. 100(11). P. 4093–4100. DOI: 10.1002/jsfa.9864

Поступила: 03.07.25; доработана после рецензирования: 22.08.25; принятa к публикации: 09.09.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Радченко Л.А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Позднякова А.П. – проведение полевых и лабораторных опытов; Ростова Е.Н. – статистическая обработка данных и их анализ; Овчаренко Н.С. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЗОР СПОСОБОВ СУШКИ ЗЕРНА РАННИХ ФАЗ СПЕЛОСТИ

В.И. Пахомов, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», v.i.pakhomov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

Д.В. Рудой, доктор технических наук, доцент, декан факультета «Агропромышленный», rudoj.d@gs.donstu.ru, ORCID ID: 0000-0002-1916-8570;

Т.А. Мальцева, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии пищевых производств», tamaltseva.donstu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3973-6846;

Т.С. Чуксеева, преподаватель кафедры «Техника и технологии пищевых производств», taniadmitrienko666@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-0385-797x;

*Донской государственный технический университет,
344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1*

Истощение традиционных кормовых ресурсов актуализирует поиск альтернативных видов сырья для комбикормовой промышленности. Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости как новое кормовое сырье представляется значительный интерес благодаря высокому содержанию белка и витаминов. Однако его использование в кормопроизводстве ограничивается существенным недостатком – повышенной влажностью (до 60 %), которая провоцирует процессы самосогревания и развития микроорганизмов в зерновой массе. Для устранения данных негативных факторов требуется проведение сушки, обеспечивающей максимальное сохранение питательной ценности продукта и витаминов. В связи с этим в настоящем обзоре представлен сравнительный анализ способов сушки зерна пшеницы ранних фаз спелости: конвективный, сушка с помощью СВЧ и инфракрасный. Проведена оценка характеристики каждого метода, выявлены их ключевые преимущества и недостатки. Установлено, что наиболее эффективным является инфракрасный метод сушки, поскольку он сочетает щадящий температурный режим (40–60 °C) с высокой скоростью процесса, что позволяет максимально сохранить питательные вещества в готовом продукте. Конвективный метод представляется малоэффективным ввиду высокой вероятности перегрева исходного продукта. СВЧ-сушка может применяться преимущественно на этапе досушки, поскольку ее использование для обработки высоковлажного сырья нерентабельно.

Ключевые слова: кормовое сырье, ворох пшеницы, методы сушки, ИК-сушка, СВЧ, конвективная сушка.

Для цитирования: Пахомов В.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А., Чуксеева Т.С. Обзор способов сушки зерна ранних фаз спелости // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 6. С. 97–100. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-97-100.



REVIEW OF GRAIN DRYING METHODS AT THE EARLY STAGES OF MATURITY

V.I. Pakhomov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products, v.i.pakhomov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

D.V. Rudoy, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of Agribusiness faculty, rudoj.d@gs.donstu.ru, ORCID ID: 0000-0002-1916-8570;

T.A. Maltseva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Production Engineering and Technology, tamaltseva.donstu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3973-6846;

T.S. Chukseeva, lecturer of the Department of Food Production Engineering and Technology, taniadmitrienko666@gmail.com, ORCID ID: 0009-0001-0385-797x;
*Don State Technical University,
344003, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1*

The depletion of traditional feed resources makes the search for alternative raw materials for the feed industry extremely crucial. A heap of early-maturing wheat is of significant interest as a new feed raw material due to its high protein and vitamin percentage. However, its use in feed production is limited by such significant drawback as high moisture content (up to 60 %), which promotes self-heating and microbial growth in the grain mass. To eliminate these negative factors, drying is required to ensure maximum preservation of nutritional value and vitamins in the product. The current review has presented a comparative analysis of such methods for drying early maturing wheat grain as convection, microwave drying, and infrared drying. There have been considered the characteristics of each method and identified their key advantages and disadvantages. There has been established that the infrared drying method is the most effective, since it combines a gentle temperature regime (40–60 °C) with a high speed of the process, which allows preserving maximum nutrients in the finished product. The convective method has been found ineffective due to the high risk of overheating the initial product. Microwave drying should be used primarily at the final drying stage, as it is unprofitable to use it for processing high-moisture raw materials.

Keywords: feed raw material, wheat heap, drying methods, IR drying, microwave, convective drying.

Введение. В условиях прогнозируемого ООН роста численности населения Земли с 8,23 (2025 г.) до 10,3 млрд человек (2080 г.) возникает объективная необходимость в увеличении объемов и качества продовольствия, включая продукты животного происхождения. Ключевым ответом на этот вызов является модернизация комбикормовой промышленности, предполагающая как наращивание производственных мощностей, так и совершенствование рецептур. Последнее достигается за счет включения в состав комбикормов высокоэффективных добавок и компонентов, гарантирующих ресурсоэффективное и качественное кормление всех категорий сельскохозяйственных животных и рыб.

Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости может служить ценным кормовым сырьем для использования в комбикормовом производстве. Зерновой ворох состоит из зерна и половы. Это сырье отличается высоким содержанием белка (на 40 % выше в сравнении со стадией полной спелости), а также включает в себя микро- и макроэлементы (B, E, A, Fe, P, Se) (Малкандуев и др., 2021; Meskhi et al., 2025). Кроме того, зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости обладает пробиотическими свойствами – способствует более активному росту и развитию полезных микроорганизмов в желудочно-кишечном тракте животных. Применение такого сырья совместно с пробиотическими кормовыми добавками будет способствовать укреплению иммунитета животного, что в свою очередь будет снижать частоту использования антибиотиков при их выращивании и уменьшать значения конверсии комбикорма. Это будет интенсифицировать производство качественной продукции животного происхождения без использования антибиотиков.

Уборка пшеницы в ранние фазы спелости (молочно-восковая) позволяет получить зерновой ворох с повышенным содержанием питательных веществ, однако его ключевой технологический недостаток – высокая влажность, достигающая 20–60 %. Такие показатели делают сырье непригодным для длительного хранения, провоцируя процессы самосогревания и развития микробиологической порчи (Малкандуев и др., 2021; Байрамов, 2024; Meskhi et al., 2025). В связи с этим возникает технологическая задача – в сжатые сроки провести активную сушку зерна, обеспечив при этом максимальную сохранность его кормовой ценности, в частности, белкового комплекса, который наиболее уязвим к термическим воздействиям. Для сушки данного материала необходимо использовать бережные и энергоэффективные способы сушки для сохранения кормовых качеств. Цель настоящего обзора – систематизировать и проанализировать существующие методы сушки для высоковлажного зерна ранних фаз спелости.

Классификация и анализ методов сушки. Один из наиболее энергозатратных этапов

в технологических циклах пищевой и комбикормовой промышленности связан с уменьшением влажности сырья. Сущность процесса сушки заключается в одновременном теплообмене и массообмене, направленном на удаление жидкости за счет ее испарения из твердых, пастообразных или жидких материалов. В данном случае это высоковлажный ворох пшеницы, влажность которого доходит до 60 %.

Ключевые различия между распространенными методами сушки, такими как конвективный, инфракрасный и СВЧ, определяются фундаментальными различиями в механизмах подвода тепловой энергии и массопереноса влаги, что непосредственно влияет на их технологическую реализацию и эффективность (Захахатнов, 2021).

Конвективная сушка. Данная технология предполагает обезвоживание материала путем его контакта с нагретым теплоносителем, температура которого превышает температуру обрабатываемого сырья. В основе процесса лежит передача тепловой энергии от сушильного агента (например, парогазовой смеси) к продукту, что приводит к испарению влаги и ее последующему удалению потоком этого агента. Для описания и расчета данного процесса используются уравнения теплового и материального баланса.

Конвективная сушка в неподвижном или малоподвижном слое реализуется в таких типах установок, как ленточные, камерные, тоннельные и шахтные (Рахманкулов и др., 2024). Эти аппараты, как правило, работают в периодическом режиме и позволяют за один цикл снизить влажность продукта до 15–20 %. Подобный метод эффективен для обработки крупногабаритных объектов, зерновых культур, а также строительных и керамических материалов. Температура нагрева материала составляет 60–120 °C в зависимости от типа сушильного аппарата.

К основным недостаткам конвективного способа можно отнести значительную продолжительность процесса, неравномерность просушки по объему материала, высокие энергозатраты, необходимость ручного труда и, как следствие, потенциальное снижение качества готовой продукции (Вендин и др., 2021; Байрамов, 2024).

Инфракрасная сушка представляет собой процесс обезвоживания материалов под воздействием инфракрасного излучения. В настоящее время данный метод находит применение в различных отраслях промышленности и считается перспективным направлением для переработки пищевых продуктов.

Принцип действия ИК-сушки основан на способности излучения определенной длины волн возбуждать молекулы материала, вызывая их интенсивные колебания и преобразование электромагнитной энергии в тепловую (Вендин и др., 2021; Байрамов, 2024). Ключевой особенностью метода является глубина проникновения излучения в пищевые

продукты, составляющая 2–6 мм, а температура нагрева варьирует от 40 до 90 °С. При этом нагрев внутренних слоев материала (например, на глубине 7 мм) происходит значительно интенсивнее по сравнению с конвективными методами. Также преимуществами ИК-сушки является то, что установки имеют относительно невысокую стоимость и мобильность. Данный метод сушки является экологически чистым и безопасным для окружающей среды. В работе (Сергеев, 2022) доказана эффективность применения инфракрасного метода сушки высоковлажного сырья с высоким содержанием фенольных веществ. Автор отмечает, что такой способ позволяет эффективно провести сушку и сохранить полезные вещества.

СВЧ-сушка основана на способности электромагнитных волн воздействовать на дипольные молекулы воды в структуре материала. Ключевой особенностью данного метода является объемный характер нагрева, обеспечивающий равномерное температурное поле по всему сечению продукта. Глубина проникновения электромагнитных волн может достигать 10 см, что позволяет эффективно обрабатывать мате-

риалы значительной толщины. Важным аспектом технологии является возможность проведения процесса при сравнительно низких температурных режимах (30–60 °С). Благодаря щадящему термическому воздействию в готовом продукте максимально сохраняются термолабильные компоненты, такие как витамины (C, B₁, B₂, B₃), минеральные вещества, эфирные масла и прочие биологически активные соединения. Аналогично инфракрасному методу, СВЧ-сушка классифицируется как экологически безопасный процесс, поскольку в качестве единственного источника энергии используется электричество (Белов, 2024).

К основным технологическим ограничениям СВЧ-сушки относится относительно низкий коэффициент полезного действия (порядка 60 %), что делает экономически оправданным его применение главным образом для досушки продукции с невысокой исходной влажностью. В связи с этим представленный метод для высоковлажного сырья будет менее эффективным (Белов, 2024). В таблице 1 представлен сравнительный анализ методов сушки.

Сравнительный анализ методов сушки Comparative analysis of drying methods

Метод сушки	Температурный режим, °С	Мощность, кВт	Энергоэффективность	Ключевые недостатки
Конвективный	60–120	85–120	Низкая, наблюдаются потери тепла с уходящим сушильным агентом	Длительность процесса, возможный неравномерный прогрев продукта
СВЧ-сушка	30–60	70	Низкая, КПД 60 %, хорошо нагревает продукт, но высокий расход электричества	Малоэффективна для влажного сырья, подходит только для досушки продукта
ИК-сушка	40–90	2,1	Средняя. Потери происходят при нагреве воздуха	Ограниченнная глубина проникновения в сырье (2–6 мм)

Каждый из представленных методов сушки имеет различное сочетание преимуществ и недостатков. Выбор наилучшего метода сушки зависит от технологических показателей исходного сырья, требований к качеству готового продукта, а также экономических факторов, включающих в себя затраты на обработку сырья.

Выводы. На основании сравнительного анализа для обработки зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости наиболее предпочтительным является инфракрасный метод сушки. По сравнению с другими рассмотренными методами, ИК-сушка характеризуется более высокой энергоэффективностью и сокращением продолжительности процесса, что нельзя

сказать о конвективном методе, отличающемся своей длительностью. Кроме того, благодаря щадящему температурному режиму ИК-сушка позволяет избежать пересушивания поверхности зерна, характерного для высокотемпературной конвективной сушки (60–120 °С), и тем самым максимально сохранить питательную ценность и кормовые достоинства сырья. СВЧ-сушка в сравнении с ИК и конвективной менее эффективна для сырья с высокой влажностью, такую имеет ворох пшеницы на ранних фазах спелости (20–60 %).

Финансирование. Работа проведена в рамках выполнения проекта «Разработка новой технологии дифференцированной уборки зерновых колосовых культур» (FZNE-2024-0014).

Библиографический список

1. Байрамов Р.З. Результаты экспериментальных исследований сушилки пророщенного зерна // Аграрный научный журнал. 2024. № 2. С. 95–101. DOI: 10.28983/asj.y2024i2pp95-101
2. Белов А.А. Влияние микроволновой обработки на питательные факторы соевых бобов // Техника и оборудование для села. 2024. № 8(326). С. 32–35. DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-32-35
3. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Окунев А.Ф. Сушилка пророщенного зерна // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 1(41). С. 71–75. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-71
4. Захахатов В.Г. Моделирование процесса сушки зерна в неподвижном слое // АПК России. 2021. Т. 28, № 2. С. 217–221.
5. Кибирев Л.К., Панков Ю.В., Юсупов М.Л. Кинетика удаления влаги из зерна при вакуумной сушке гороха // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2023. № 3(19). С. 4–9.

6. Малкандуев Х.А., Шамурзаев Р.И., Малкандуева А.Х. Технологические свойства озимой пшеницы в процессе послеуборочного дозревания // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 6(104). С. 146–154. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-146-154
7. Петроченко Н.О. Технология заготовки плющеного зерна // Наше сельское хозяйство. 2021. № 16(264). С. 34–39.
8. Рахманкулов Т., Эркинжонов А., Каримов К.А., Адилова Ш.Р., Тураходжаев Н.Д., Мирмухамедов М.М., Шарипов Дж.Х., Обидов З.Р., Комолов Х. Условия проведения экспериментальных исследований по сушке зерна // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2024. Т. 17. № 2. С. 186–192.
9. Сергеев М.А. Экспериментальное исследование равномерности нагрева высоковлажного растительного сырья в устройстве динамической инфракрасной сушки // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 177. С. 219–231. DOI: 10.21515/1990-4665-177-012
10. Meskhi B., Pakhomov V., Rudoy D., Maltseva T., Olshevskaya A., Mazanko M. Early maturity wheat as a highly valuable feed raw material with prebiotic activity // Agriculture. 2025. Vol. 15, № 3. Article number: 317. DOI: 10.3390/agriculture15030317

References

1. Bayramov R.Z. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovanij sushilki proroshchennogo zerna [Results of experimental study of a sprouted grain dryer] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2024. № 2. S. 95–101. DOI: 10.28983/asj.y2024i2pp95-101
2. Belov A.A. Vliyanie mikrovolnovoj obrabotki na pitatel'nye faktory soevykh bobov [Effect of microwave treatment on the nutritional factors of soybeans] // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2024. № 8(326). S. 32–35. DOI: 10.33267/2072-9642-2024-8-32-35
3. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Okunev A.F. Sushilka proroshchennogo zerna [Sprouted grain dryer] // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2021. № 1(41). S. 71–75. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-7
4. Zakhakhatnov V.G. Modelirovanie processa sushki zerna v nepodvizhnom sloe [Modeling the grain drying process in a fixed bed] // APK Rossii. 2021. Т. 28, № 2. S. 217–221.
5. Kibirev L.K., Pankov Yu.V., Yusupov M.L. Kinetika udaleniya vlagi iz zerna pri vakuumnoj sushke gorokha [Kinetics of moisture removal from grain during vacuum drying of peas] // Nauchno-tehnicheskij vestnik: Tekhnicheskie sistemy v APK. 2023. № 3(19). S. 4–9.
6. Malkanduev H.A., Shamurzaev R.I., Malkandueva A.H. Tekhnologicheskie svojstva ozimoj pshenicy v processe posleuborochnogo dozrevaniya [Technological properties of winter wheat during post-harvest ripening] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. 2021. № 6(104). S. 146–154. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-146-154
7. Petrochenko N.O. Tekhnologiya zagotovki plyushchenogo zerna [Technology for preparing flattened grain] // Nashe sel'skoe khozyajstvo. 2021. № 16(264). S. 34–39.
8. Rakhmankulov T., Erkinzhonov A., Karimov K.A., Adilova Sh.R., Turakhodjaev N.D., Mirmukhamedov M.M., Sharipov J.H., Obidov Z.R., Komolov H. Usloviya provedeniya eksperimental'nykh issledovanij po sushke zerna [Conditions for conducting experimental study of grain drying] // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii. 2024. Т. 17. № 2. S. 186–192.
9. Sergeev M.A. Ehksperimental'noe issledovanie ravnomernosti nagрева высоковлажногорастительного сырья в устройстве динамической инфракрасной сушки [Experimental study of the uniformity of heating high-moisture plant materials in a dynamic infrared dryer] // Politematicheskij setevoj elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 177. S. 219–231. DOI: 10.21515/1990-4665-177-012
10. Meskhi B., Pakhomov V., Rudoy D., Maltseva T., Olshevskaya A., Mazanko M. Early maturity wheat as a highly valuable feed raw material with prebiotic activity // Agriculture. 2025. Vol. 15, № 3. Article number: 317. DOI: 10.3390/agriculture15030317

Поступила: 30.10.25; доработана после рецензирования: 17.11.25; принята к публикации: 20.11.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Пахомов В.И. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация; Рудой Д.В. – концептуализация исследований, сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Мальцева Т.А. – проведение обзора исследований, сбор и анализ данных, написание публикации; Чуксеева Т.С. – проведение обзора исследований, сбор и анализ данных, написание публикации.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 632.937:632.78

DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-101-105

ПРИМЕНЕНИЕ БИОПРЕПАРОВ ПРОТИВ *LEGUMINIVORA GLYCINIVORELLA MATSUMURA* (LEPIDOPTERA, TORTRICIDAE)

О.Н. Теличко, ведущий научный сотрудник отдела биологического метода защиты растений, olgatelichcko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7948-4949;

О.В. Сырмолот, научный сотрудник отдела биологического метода защиты растений, oksanaszr@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-8318-1382

ДВНИИЗР – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий

Дальнего Востока им. А.К. Чайки,

692684, Приморский край, Ханкайский район, с. Камень-Рыболов, ул. Мира, д. 42а;

e-mail: dalniizr@mail.ru

В статье приведены результаты исследований по биологической и хозяйственной эффективности двух биорациональных инсектицидов (д.в. эмамектин бензоат, 50 г/кг и абамектин, 10 г/л) против плодожорки соевой *Leguminivora glycinvorella* Matsumura (Lepidoptera, Tortricidae). Работу проводили в условиях муссонного климата на базе ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. Обработку растений осуществляли в период образования бобов, расход рабочей жидкости – 300 л/га, сорт сои – Бриз. Цель работы – провести оценку эффективности биорациональных инсектицидов против плодожорки соевой *L. glycinvorella* в условиях юга Дальнего Востока. В результате работы установлено, что в вариантах с применением биоинсектицидов поврежденность бобов и семян сои гусеницами вредителя была ниже, чем в контроле (в 1,6–1,7 и в 2,0–2,3 раза соответственно). По нашим данным, биологическая эффективность препаратов против вредителя составила 49,2–55,9 %. Анализ хозяйственно полезных признаков сои показал, что использование биоинсектицидов положительно влияет на элементы продуктивности. В вариантах с обработкой растений препаратами количество бобов с одного растения составило 23,3–25,6 шт., количество семян с одного растения – 57,5–62,3 шт., а масса 1000 семян достигала 203,2 г, что превышает контроль на 2,3–4,6, 9,6–14,4 шт. и 14,2–16,3 г соответственно. В результате использования инсектицидов прибавка урожая составила 0,4–0,5 т/га.

Ключевые слова: соя, *Leguminivora glycinvorella*, биоинсектициды, эффективность.

Для цитирования: Теличко О.Н., Белова Т.А., Сырмолот О.В. Применение биопрепаратов против *Leguminivora glycinvorella* Matsumura (Lepidoptera, Tortricidae) // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17., № 6. С. 101–105. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-101-105.



THE USE OF BIOPRODUCTS AGAINST *LEGUMINIVORA GLYCINIVORELLA MATSUMURA* (LEPIDOPTERA, TORTRICIDAE)

О.Н. Теличко, leading researcher of the department of biological method of plant protection, olgatelichcko@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7948-4949;

О.В. Сырмолот, researcher of the department of biological method of plant protection, oksanaszr@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-8318-1382,

FERIPP, a branch of the FRC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika, 692684, Primorsky Region, v. of Kamen-Rybolov, Mir Str., 42a; e-mail: dalniizr@mail.ru

The current paper has presented the study results of the biological and economic efficiency of two biorational insecticides (ac.in. emamectin benzoate, 50 g/kg, and abamectin, 10 g/l) against the soybean moth *Leguminivora glycinvorella* Matsumura (Lepidoptera, Tortricidae). The current study was conducted under monsoon conditions at the FRC of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaika. The plants were treated at a rate of 300 l/ha during bean formation. The soybean variety was 'Briz'. The purpose of the study was to estimate the efficiency of biorational insecticides against the soybean moth *L. glycinvorella* in the southern Far East. There has been established that using bioinsecticides, soybean seeds and beans' damage by the pest caterpillars was lower than in the control (by 1.6–1.7 and 2.0–2.3 times, respectively). According to the data, the biological efficiency of the pest control products ranged from 49.2 % to 55.9 %. The analysis of the economically valuable traits of soybeans has shown that the use of bioinsecticides has a positive effect on productivity. With the treatment, the number of beans per plant was 23.3–25.6 pcs., the number of seeds per plant was 57.5–62.3 pcs., and 1000-seed weight reached 203.2 g, exceeding the control by 2.3–4.6, 9.6–14.4 6 pcs. and 14.2–16.3 g, respectively. The use of insecticides resulted in a productivity increase of 0.4–0.5 t/ha.

Keywords: soybean, *Leguminivora glycinvorella*, bioinsecticides, efficiency.

Введение. В Приморском крае ежегодно при созревании сои зерно повреждается плодожорка соевая *Leguminivora glycinvorella* Matsumura (Lepidoptera, Tortricidae) – специализированный вредитель сои на территории Дальнего Востока (Belova

et al., 2024). Плодожорка является широко распространенным фитофагом во всех регионах возделывания сои не только на территории России, но и за рубежом (Бутовец и др., 2022; Yang et al., 2024; Yoshimura et al., 2021). В процессе созревания бобов сои гусеницы *L. gycinivorella* могут повреждать 70–100 % растений культуры.

Одной из проблем при выращивании сои является борьба с вредными организмами. Сегодня сельхозпроизводители заинтересованы в снижении пестицидной нагрузки на посевы сельскохозяйственных культур с целью получения экологически чистой продукции. Перспективным направлением в защите растений против насекомых-вредителей без существенного вреда для окружающей среды является применение биологического метода (Петухова и Орлова, 2021), который включает в себя использование не только биоинсектицидов (Коваленко и др., 2023; Шабатуков и Шипшева, 2024), а также феромонных ловушек и энтомофагов (Агасьева и др., 2021).

Цель работы – провести оценку эффективности биорациональных инсектицидов против плодожорки соевой *L. gycinivorella* в условиях юга Дальнего Востока.

Материалы и методы исследований. Полевой опыт был заложен в условиях муссонного климата степной зоны Приморского края на лугово-бурой отбеленной почве. В работе использовали препараты Проклэйм, ВРГ (д. в. эмамектин бензоат, 50 г/кг) – 0,4 кг/га

и Биокилл, КЭ, (д. в. абамектин, 10 г/л) – 0,4 л/га. В качестве контроля использовали вариант с обработкой растений дистиллированной водой. Обработку растений проводили в период образования бобов, расход рабочей жидкости – 300 л/га, сорт сои – Бриз, норма высева – 550 тыс. шт./га. Опыт закладывали в четырехкратной повторности на делянках площадью 10 м². Отбор образцов для исследований на поврежденность бобов и семян выполняли в фазу полной спелости сои.

Исследования проводили согласно с Методическими указаниями по испытанию биопрепаратов для защиты растений от вредителей, болезней и сорняков. Математическая обработка полученных данных выполнена по Б.А. Доспехову. Биологическую эффективность (Б) препаратов определяли по формуле Аббота:

$$B = \frac{A-B}{A} \times 100,$$

где А – количество поврежденных семян в контроле, шт.; В – количество поврежденных семян в опытном варианте, шт.

Сумма активных температур свыше 10 °C в 2023–2024 гг. с мая по сентябрь соответствовала 2926–2788 °C (ГТК = 2,9 и ГТК = 1,9 соответственно) (рис. 1, а). Количество выпавших осадков по месяцам варьировало от 6,2 мм (сентябрь 2023 г.) до 461,7 мм (август 2023 г.) (рис. 1, б). Количество осадков с мая по сентябрь в 2023 г. 833,5 мм, в 2024 г. – 529,5 мм.

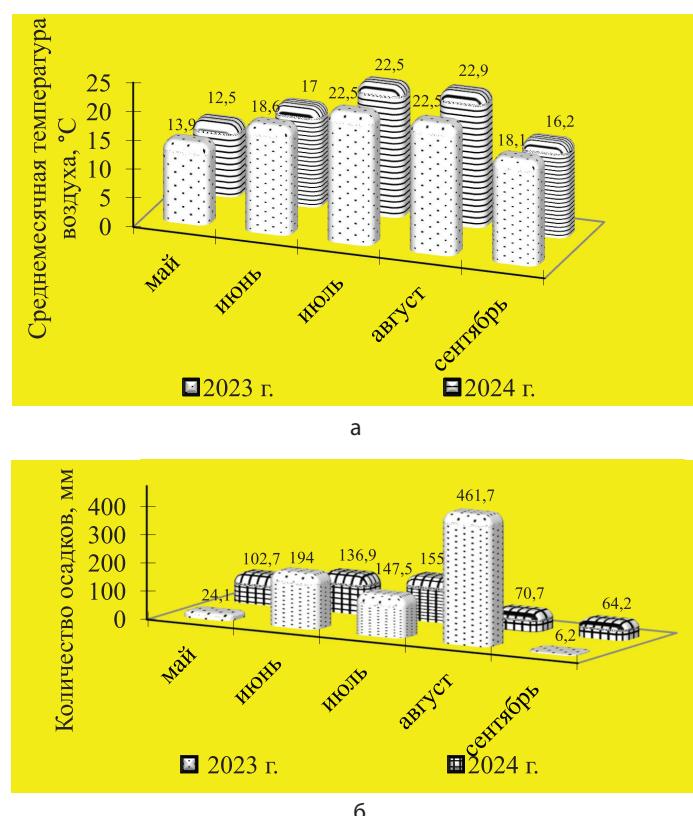


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха (а) и количество осадков (б) по месяцам за 2023–2024 гг.
Fig. 1. Average monthly air temperature (a) and precipitation (b) in 2023–2024

Результаты и их обсуждение. Исследования показали, что применение биопрепара-

тов привело к снижению повреждения бобов и семян сои *L. glycinivorella* (рис. 2).

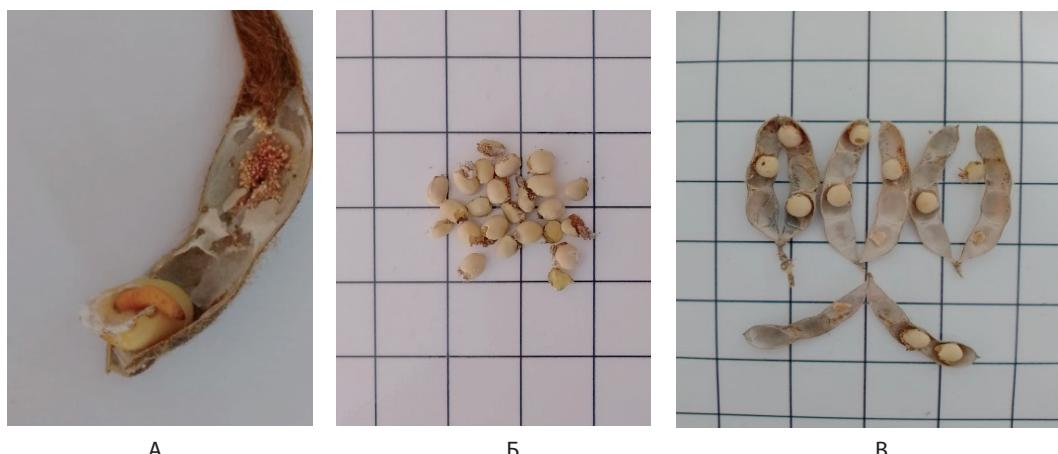


Рис. 2. А – гусеница *Leguminivora glycinivorella* Mats;
Б – семена, В – бобы сои, поврежденные *L. glycinivorella* (ориг.)
Fig. 2. А – *Leguminivora glycinivorella* Mats. caterpillar (a);
Б – soybean seeds, С – soybeans damaged by *L. glycinivorella* (orig.)

В результате исследований выявлено, что применение биоинсектицидов положительно отразилось на снижении поврежденности бобов сои гусеницами вредителя, в результате процент поврежденности составил 3,3–3,4 %, в контроле – 5,6 % (рис. 3). В среднем за два года процент поврежденных семян сои в ва-

риантах с применением препаратов составил 2,6–3,0 %, что ниже на 2,9–3,3 % по сравнению с контролем. Заселенность растений вредителем варьировала от 43,7 до 71 %. Меньше всего было повреждено растений в варианте с использованием биоинсектицида Проклэйм.

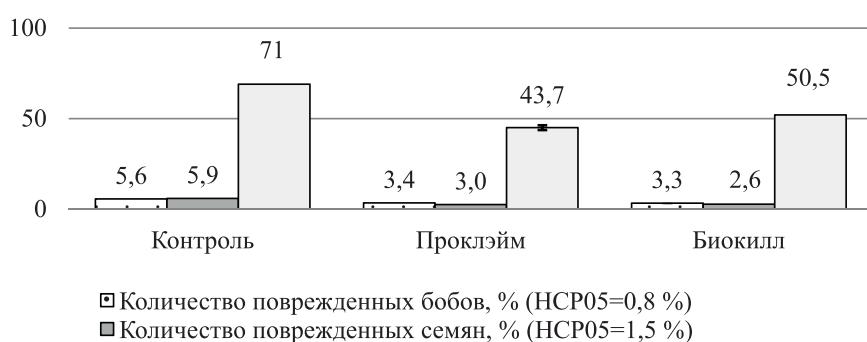


Рис. 3. Показатели поврежденности сои *Laspeyresia glycinivorella* Mats. (2023–2024 гг.)
Fig. 3. Indicators of soybean damage by *Laspeyresia glycinivorella* Mats. (2023–2024)

В целом биологическая эффективность от применения инсектицидов соответствовала 49,2–55,9 % (рис. 4). Наиболее эффектив-

ным против *L. glycinivorella* оказался препарат Биокилл.

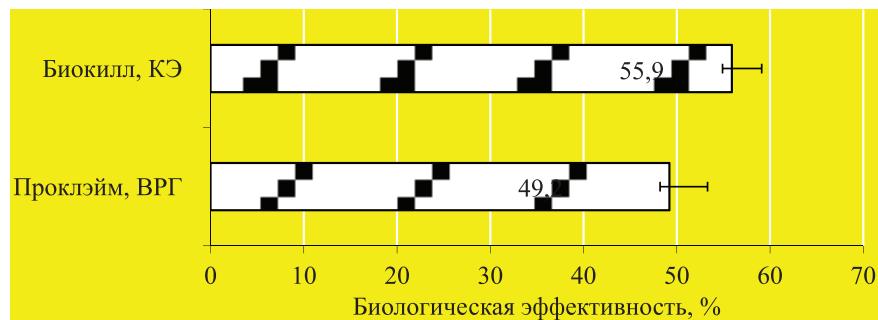


Рис. 4. Биологическая эффективность препаратов против *Leguminivora glycinivorella* Mats., %, 2023–2024 гг. (HCP₀₅ = 3,7 %)
Fig. 4. Biological efficiency of products against *Leguminivora glycinivorella* Mats., %, 2023–2024 (HCP₀₅ = 3.7%)

В результате работы проведен анализ растений сои, отобранных в фазу созревания, на влияние изучаемых биопрепаратов на хозяйственно ценные признаки культуры. Выявлено, что применение биоинсектицидов положительно отразилось на показателях продуктивности сои. По нашим данным, при обработке растений препаратами количество бобов с одного растения составило 23,3–25,6 шт., количество семян с одного растения – 57,5–62,3 шт., а масса 1000 семян достигала 203,2 г. Превышение над контролем по данным показателям составило 2,3–4,6 шт. ($HCP_{05} = 1,8$ шт.); 9,6–14,4 шт.

($HCP_{05} = 7,4$ шт.) и 14,2–16,3 г ($HCP_{05} = 11,3$ г) соответственно (рис. 5). В варианте с применением биоинсектицида Проклэйм эти показатели немного ниже по сравнению с использованием препарата Биокилл.

Продуктивность семян в зависимости от варианта варьировала от 8,2 до 9,6 г/раст. ($HCP_{05} = 1,2$ г). Применение биоинсектицидов Биокилл и Проклэйм в целом положительно сказалось на урожайности сои – прибавка урожая составила 0,2–0,5 т/га ($HCP_{05} = 0,2$ т) относительно контроля.

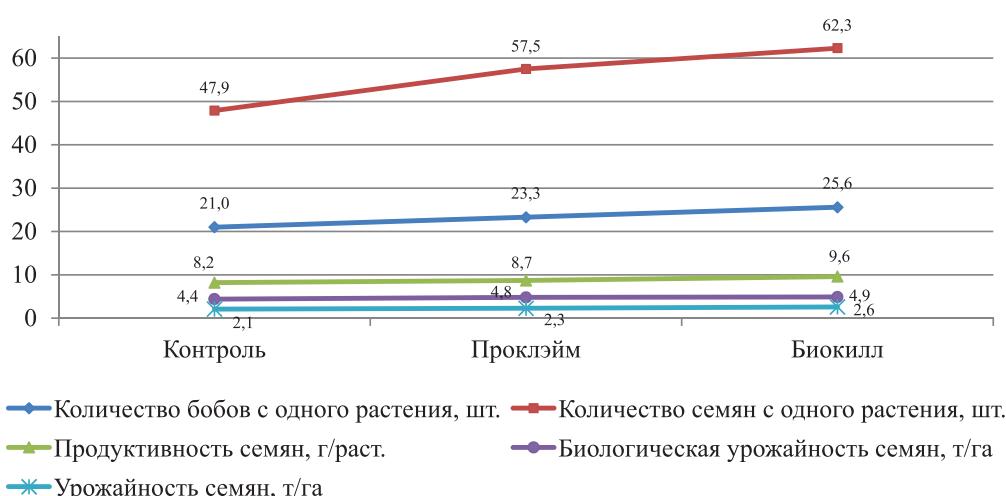


Рис. 5. Влияние применения биопрепаратов на хозяйственно ценные признаки и биологическую урожайность сои (2023–2024 гг.)

Fig. 5. Effect of bioproduct use on economically valuable traits and biological productivity of soybeans (2023–2024)

Выводы. В результате исследований выявлено, что применение биоинсектицидов способствует снижению поврежденности растений *L. glycinvorella*, тем самым увеличивает качество урожая семян. По нашим данным, наилучшей инсектицидной активностью против плодожорки соевой обладает биопрепарат Биокилл. Количество поврежденных бобов и семян сои при применении данного препарата составило 3,3 и 2,6 % соответственно, что ниже по сравнению с контролем

в 1,7 и 2,3 раза. Инсектицид Проклэйм, ВРГ также можно рекомендовать для защиты посевов культуры от вредителя.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств бюджета ДВНИИЗР – филиала ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (государственное задание № 122030100112-5). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Библиографический список

1. Агасьева И.С., Нефедова М.В., Настасий А.С., Федоренко Е.В. Разработка основных элементов системы биологической защиты кукурузы для технологий органического сельского хозяйства // Земледелие. 2021. № 6. С. 44–48. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-44-48
2. Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М., Васина Е.А. Дальневосточный сорт сои Бриз // Кормопроизводство. 2022. № 6. С. 34–37. DOI: 10.25685/krm.2022.2022.6.005
3. Коваленко Т.К., Гришечкина С.Д., Кочева Н.С. Защита растений сои от фитофагов в условиях Приморского края // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53, № 11. С. 46–52. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-11-5
4. Петухова М.С., Орлова Н.В. Приоритетные направления научно-технологического развития защиты сельскохозяйственных растений в России и мире // International Agricultural Journal. 2021. Т. 64, № 2. С. 58–69. DOI: 10.24411/2588-0209-2021-10310
5. Шабатуков А.Х., Шипшева З.Л. Экономическая эффективность применения инсектицидов нового поколения на посевах кукурузы в степной зоне Кабардино-Балкарии // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 10. С. 27–32. DOI: 10.32651/2410-27
6. Belova T., Telichko O., Syrmolot O., Lastushkina E. Using bioproducts for soybean protection against the soybean pod borer (*Leguminivorella glycinvorella* Mats.) under the conditions of the steppe zone of Primorsky kray // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 539. S. 02025. DOI: 10.1051/e3sconf/202453902025

7. Yang M., Wang Y., Dai P., Feng D., Hughes A.C., Li H., Zhang A. Sympatric diversity pattern driven by the secondary contact of two deeply divergent lineages of the soybean pod borer *Leguminivora glycinivorella* // Integrative Zoology. 2024. Vol. 20. № 6. S. 1149-1168. DOI: 10.1111/1749-4877.12917

8. Yoshimura H., Okutani-Akamatsu Ya., Naka H., Tabuchi K. Possibility of decreasing susceptibility of the soybean pod borer, *Leguminivora glycinivorella* Matsumura (Lepidoptera: Tortricidae), to diamide insecticide in tottori prefecture // Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology. 2021. Vol. 65, № 4. S. 181–185. DOI: 10.1303/jjaez.2021.181

References

1. Agas'eva I.S., Nefedova M.V., Nastasii A.S., Fedorenko E.V. Razrabotka osnovnykh elementov sistemy biologicheskoi zashchity kukuruzy dlya tekhnologii organicheskogo sel'skogo khozyaistva [Development of the basic elements of a biological protection system for maize for organic farming] // Zemledelie. 2021. № 6. S. 44–48. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-6-44-48
2. Butovets E.S., Luk'yanchuk L.M., Vasina E.A. Dal'nevostochnyi sort soi Briz [The Far Eastern soybean variety "Briz"] // Kormoproizvodstvo. 2022. № 6. S. 34–37. DOI: 10.25685/krm.2022.2022.6.005
3. Kovalenko T.K., Grishechkina S.D., Kocheva N.S. Zashchita rastenii soi ot fitofagov v usloviyakh Primorskogo kraya [Protection of soybean plants from phytophages in the Primorsky Territory] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2023. T. 53, № 11. S. 46–52. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-11-5
4. Petukhova M.S., Orlova N.V. Prioritetnye napravleniya nauchno-tehnologicheskogo razvitiya zashchity sel'skokhozyaistvennykh rastenii v Rossii i mire [Priority areas for scientific and technological development of agricultural plant protection in Russia and in the world] // International Agricultural Journal. 2021. T. 64. № 2. S. 58-69. DOI: 10.24411/2588-0209-2021-10310
5. Shabatukov A.Kh., Shipsheva Z.L. Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya insektitsidov novogo pokoleniya na posevakh kukuruzy v stepnoi zone Kabardino-Balkarii [Economic efficiency of the use of new-generation insecticides on maize in the steppe area of Kabardino-Balkaria] // Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii. 2024. № 10. S. 27–32. DOI: 10.32651/2410-27
6. Belova T., Telichko O., Syrmolot O., Lastushkina E. Using bioproducts for soybean protection against the soybean pod borer (*Leguminivora glycinivorella* Mats.) under the conditions of the steppe zone of Primorsky kray // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 539. S. 02025. DOI: 10.1051/e3sconf/202453902025
7. Yang M., Wang Y., Dai P., Feng D., Hughes A.C., Li H., Zhang A. Sympatric diversity pattern driven by the secondary contact of two deeply divergent lineages of the soybean pod borer *Leguminivora glycinivorella* // Integrative Zoology. 2024. Vol. 20. № 6. S. 1149-1168. DOI: 10.1111/1749-4877.12917
8. Yoshimura H., Okutani-Akamatsu Ya., Naka H., Tabuchi K. Possibility of decreasing susceptibility of the soybean pod borer, *Leguminivora glycinivorella* Matsumura (Lepidoptera: Tortricidae), to diamide insecticide in tottori prefecture // Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology. 2021. T. 65, № 4. S. 181–185. DOI: 10.1303/jjaez.2021.181

Поступила: 17.06.25; доработана после рецензирования: 04.07.25; принята к публикации: 18.07.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Теличко О.Н. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, проведение полевого опыта; Сырмолот О.В. – проведение полевого опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФУНГИЦИДОВ ПРОТИВ МУЧНИСТОЙ РОСЫ НА ПОСЕВАХ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КБР

А.Х. Шабатуков, научный сотрудник, заведующий лабораторией защиты растений, anzor_1973h@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2986-6305;

З.Л. Шипшева, научный сотрудник лаборатории защиты растений, zaira_78h@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4873-2994

Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ ФНЦ Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Кирова, 224

Объектом исследований выбрана озимая пшеница сортов Таулан и Памяти Шатилова совместной селекции НЦЗ им. Лукьяненко и Института сельского хозяйства КБНЦ РАН. В статье представлены данные исследований за 2022–2024 гг. по мониторингу основных болезней в агроценозе озимой пшеницы в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики. Цель исследования заключается в определении видового состава фитопатогенов и эффективности работы фунгицидов химического и биологического происхождения. В результате обследований были отмечены наиболее вредоносные фитопатогены, такие как мучнистая роса, пиренофороз, септориоз листьев. Потери урожая озимой пшеницы от данных заболеваний могут достигать 30 %, а в неблагоприятных условиях значительно превышать этот показатель, приводя к серьезным экономическим потерям для сельхозпроизводителей. Озимую пшеницу высевали после кукурузы, учетная площадь делянки составляла 25 м², повторность 3-кратная, размещение вариантов randomizedированное в три яруса. Установлена эффективность работы фунгицидов химического и биологического происхождения: Колосаль, КМЭ; Геката, КМЭ; Эйс, ККР; Алирин-Б, Ж; Бактофорт, Ж; Трихоплант, СК. Проведена сравнительная оценка биологической эффективности фунгицидов против мучнистой росы сортов озимой пшеницы Таулан и Памяти Шатилова. Наибольшую эффективность в борьбе с возбудителем мучнистой росы проявил химический фунгицид – Эйс, ККР, он способствовал повышению биологической урожайности сортов Памяти Шатилова и Таулан на 1,2 и 0,3 т/га соответственно. А из биофунгицидов на озимой пшенице по биологической урожайности выделился Трихоплант, СК со значениями 5,5 и 4,1 т/га соответственно. Исследования качественных показателей зерна озимой пшеницы были проведены в лаборатории химических анализов и биологических исследований Института сельского хозяйства КБНЦ РАН, уборка зерна проводили при влажности 14 %.

Ключевые слова: пшеница, фитосанитарный мониторинг, мучнистая роса, фунгициды, биологическая эффективность.

Для цитирования: Шабатуков А.Х., Шипшева З.Л. Эффективность применения фунгицидов против мучнистой росы на посевах озимой пшеницы в условиях КБР // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 106–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-106-112.



THE EFFICIENCY OF FUNGICIDE AGAINST POWDERY MILDEW ON WINTER WHEAT CROPS IN THE STEPPES OF THE KABARDINO-BALKARIAN REPUBLIC

A.Kh. Shabatukov, researcher, head of the laboratory for plant protection, anzor_1973h@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2986-6305;

Z.L. Shipsheva, researcher of the laboratory for plant protection, zaira_78h@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4873-2994

*Institute of Agriculture,
a branch of the FSBSI “Federal Research Center “Kabardino-Balkarian Research Center RAS”,
360004, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Kirov Str., 224; e-mail: kbnish2007@yandex.ru*

The objects of the current study were the winter wheat varieties 'Taulan' and 'Pamyati Shatilova', jointly developed by the National Center of Grain named after P.P. Lukyanenko and the Institute of Agriculture of the KBSC RAS. The current paper has presented the 2022–2024 research data on monitoring the main diseases in winter wheat agroecosystem in the steppe area of the Kabardino-Balkarian Republic. The purpose of the study was to determine the species composition of plant pathogens and the efficiency of chemical and biological fungicides. There have been identified the most harmful plant pathogens, including powdery mildew, net blotch (pyrenoporphrosis), and Septoria leaf blotch. Winter wheat yield losses from these diseases can reach 30 %, and under unfavorable conditions, they can significantly exceed this percentage, leading to significant economic losses for farmers. Winter wheat was sown after maize. The plot size was 25 m², threefold repetition, and randomized placement of the variants in three tiers. There has been established the efficiency of chemical and biological fungicides Kolosal, KME; Hekata, KME; Ais, KKR; Alirin-B, Zh; Baktofort, Zh; Trikhoplant, SK. There has been made a comparative estimation of the biological efficiency of fungicides against powdery mildew of winter wheat varieties 'Taulan' and 'Pamyati Shatilova'. The chemical fungicide Ais, KKR demonstrated the greatest effect in combating the causative agent of powdery mildew, increasing the biological productivity of the varieties 'Pamyati Shatilova' and 'Taulan' by 1.2 and 0.3 t/ha, respectively. Among the biofungicides, Trichoplant SK was the best for biological productivity of winter wheat with 5.5 and 4.1 t/ha, re-

spectively. Winter wheat grain quality was tested in the laboratory for chemical analysis and biological research of the Institute of Agriculture KBSC RAS. Harvesting was carried out at a moisture content of 14 %.

Keywords: wheat, phytosanitary monitoring, powdery mildew, fungicides, biological efficiency.

Введение. Озимая пшеница – одна из важнейших зерновых культур в мире, она служит источником энергии и растительного белка в рационе человека. Однако болезни пшеницы могут не только ухудшить качество зерна, но и привести к загрязнению токсичными веществами, которые могут быть опасны для здоровья людей.

Специалисты в области защиты растений постоянно подчеркивают, что своевременная и правильная диагностика возбудителей болезней растений является залогом успешной борьбы с ними. Фитомониторинг предполагает работу высококвалифицированных специалистов, имеющих профильное образование и практический опыт работы в данной сфере деятельности. Фитосанитарная диагностика в последнее время становится все более актуальным и востребованным мероприятием в аграрном секторе (Слободчиков А.А., 2021).

Согласно сведениям, предоставленным исследователями, на планете насчитывается свыше 500 разновидностей вредоносных насекомых, поражающих аграрные культуры, 180 видов возбудителей заболеваний растений и 150 видов сорняков, у популяций которых выработалась резистентность как минимум к одному из используемых пестицидов. На протяжении последних лет индекс производства сельскохозяйственной продукции в Кабардино-Балкарской Республике демонстрирует стабильную тенденцию к увеличению. При этом одним из многообещающих векторов развития агропромышленного комплекса данного региона является возделывание зерновых культур.

В последнее время из-за отсутствия устойчивых сортов пшеницы химические инсектициды стали основным методом борьбы с болезнями. Однако если использовать средства защиты растений разумно и грамотно вести хозяйство, можно достичь значительного эффекта.

Важно выбирать препараты, которые не вредят окружающей среде, теплокровным животным и людям. Это не только улучшает фитосанитарное состояние посевов, но и позволяет получить больше прибыли, сохранив 20–25 % урожая. В последнее время ассортимент фунгицидов все больше пополняется биопрепаратами (Хромова и др., 2024; Соломатин и др., 2022; Доронин и др., 2023).

Снижение числа неоправданных обработок растений с помощью химических препаратов за счет их рационального применения в меньших количествах, а также увеличение доли использования биологических средств в борьбе с вредителями и болезнями – это потенциальные возможности для значительного увеличения урожайности и улучшения качества продукции растениеводства, что, в свою очередь, влияет на ее конкурентоспособность.

Идентификация фитопатогенов в начале их проявления поможет в дальнейшем своевременно выявить и провести эффективные защитные мероприятия в борьбе с прогрессирующими болезнями озимой пшеницы.

Эффективность использования фунгицидов химического и биологического происхождения против мучнистой росы на посевах озимой пшеницы является важным аспектом современного земледелия (Кекало и др., 2020; Комарова и др., 2021).

Выбор подходящего фунгицида зависит от конкретного патогена, степени поражения. Применение биологических фунгицидов на основе бактерий или грибов-антагонистов является экологически более безопасным вариантом, хотя их эффективность может быть несколько ниже, чем у химических аналогов. Комплексный подход, включающий мониторинг состояния растений, своевременную обработку фунгицидами и агротехнические мероприятия, является ключом к минимизации потерь урожая и получению высоких и качественных показателей (Шабатуков А.Х., 2022).

Симптомы мучнистой росы проявляются в весенний период в форме мелких белесых пятен, локализованных у основания стебля. По мере вегетации растения заболевание распространяется на формирующиеся листья и продвигается вверх по стеблю. Налет со временем уплотняется, приобретает желтовато-серый оттенок, и на нем формируются клейстотеки, имеющие вид черных точек. В годы с благоприятными условиями для развития данного заболевания налет может наблюдаться и на верхних ярусах растения, включая колосья. Инфицирование происходит в температурном диапазоне от 0 до 20 °C и при относительной влажности воздуха от 50 до 100 %. Высокие температуры воздуха (свыше 30 °C) ингибируют развитие мучнистой росы.

Цель работы – определить видовой состав фитопатогенов и установить эффективность фунгицидов в борьбе с ними. Для этого попрек поля отбиваются варианты опыта с целью испытания фунгицидов в сравнении с контролем и делянки закрепляются колышками. Учет проводится на этих делянках в трехкратной повторности размером 25 м².

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2022–2024 гг. на опытных участках ИСХ КБНЦ РАН на базе лаборатории защиты растений. Почва опытных участков представлена южным черноземом, который территориально располагается относительно узкой полосой между обычновенными черноземами и темно-каштановыми почвами. Для южных черноземов характерно невысокое содержание гумуса в горизонте А (3,5–5,0 %), а также весьма постепенное его распределение по всему почвенному профилю. Данный

тип почв преимущественно интенсивно используется для культивирования колосовых культур, подсолнечника, а также кукурузы, возделываемой на зерно и силос (Чочаев М.М., 2022). В качестве объекта исследования использовали два сорта озимой пшеницы совместной селекции ИСХ КБНЦ РАН с НЦЗ им. Лукьяненко – Памяти Шатилова и Таулан. Озимую пшеницу высевали после кукурузы, учетная площадь делянки составляла 25 м², повторность 3-кратная, размещение вариантов реномизированное в три яруса. Опыты закладывали согласно общепринятым методикам (Доспехов Б.А., 2011; Говоров и др., 2017; Чумаков и Захарова, 1990; Шутко и Тутуржанс, 2018).

Для определения гектарной нормы расхода средств защиты растений использовали «Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ», 2023 год (Каталог пестицидов и агрохимикатов, 2023).

При учете болезней определяли два показателя: распространение или количество пораженных растений в посевах и развитие или степень пораженности органов.

Первый показатель (Р) устанавливали по формуле:

$$P = n \times 100 / N, \quad (1)$$

где N – общее количество растений в пробах; n – количество больных растений.

Степень развития (R) болезни или среднюю пораженность отдельных органов в процентах, определяют по формуле:

$$R = \Sigma ab / NK, \quad (2)$$

где Σab – сумма произведений количества больных растений на соответствующий им

балл или процент пораженности листьев, стеблей или колосьев; N – общее количество анализированных растений (органов) в пробах; K – наивысший балл шкалы.

Шкала оценки развития мучнистой росы на злаках:

- 0 – отсутствие болезни;
- 1 – очень слабая (поражение до 10 %);
- 2 – слабая (поражение 10–25 %);
- 3 – средняя (поражение 25–50 %);
- 4 – сильная (поражение более 50 %).

Математическую обработку полученных данных проводили с использованием стандартных компьютерных программ (Microsoft Excel). Достоверность по отношению к контролю вычисляли с помощью графических методов анализа данных в программе Statistica.

Испытываются три химических фунгицида: Колосаль, КМЭ (0,4 л/га); Геката, КМЭ (1,0 л/га); Эйс, ККР (1,0 л/га) и три биологических – Алирин-Б, Ж (4,0 л/га); Бактофорт, Ж (2,0 л/га); Трихоплант, СК (4,0 л/га) в сравнении с контролем.

Размещение вариантов: случайный (рено-мизированный) метод, форма – прямоугольная.

Результаты и их обсуждение. От своевременного фитосанитарного мониторинга зависит успех защитных мероприятий, который основывается на результатах учетов и наблюдений за развитием и распространением вредных организмов (Парпуря и др., 2022; Тойгильдин и др. 2017).

На экспериментальных посевах озимой пшеницы ИСХ КБНЦ РАН в степной зоне КБР в 2022–2024 гг. проводили мониторинг фитосанитарной ситуации по выявлению распространенных болезней. В результате обследований был отмечен наиболее вредоносный фитопатоген – мучнистая роса. При этом развитие пиренофороза и септориоза листьев снизилось и находится на экономически неощутимом уровне (табл. 1).

Таблица 1. Основные болезни и частота встречаемости на посевах озимой пшеницы (НПУ №1, степная зона КБР, 2022–2024 гг.)

Table 1. Main diseases and their frequency in winter wheat crops (SPP No. 1, steppe area of the KBR, 2022–2024)

№	Наименование фитопатогенов	Средневзвешенный % пораженности
1	Желтая ржавчина (<i>Puccinia striformis</i>)	–
2	Мучнистая роса (<i>Blumeria graminis</i>)	++
3	Корневая гниль (<i>Fusarium culmorum</i> , <i>F. equiseti</i>)	–
4	Пиренофороз (<i>Pyrenophora tritici – repentis</i>)	+
5	Септориоз листьев (<i>Septoria tritici</i>)	+
6	Септориоз колоса (<i>Septoria nodorum</i> (Berk.))	–
7	Фузариоз колоса (<i>Fusarium avenaceum</i>)	–
8	Снежная плесень (<i>Microdochium nivale</i>)	–
9	Пыльная головня (<i>Ustilago tritici</i>)	–

Примечание. + – слабая (0–5 %); ++ – средняя (5–50 %); +++ – сильная (50–100 %).

На посевах озимой пшеницы одной из самых распространенных болезней является мучнистая роса. Потери урожая озимой пшеницы от мучнистой росы могут достигать 30 %, а в не-

благоприятных условиях значительно превышать этот показатель, приводя к серьезным экономическим потерям для сельхозпроизводителей.

Эффективная защита требует комплексного подхода, включающего агротехнические мероприятия, выбор устойчивых сортов и применение химических и биологических средств защиты растений – фунгицидов. Оптимальные сроки обработки фунгицидами зависят от нескольких факторов, включая погодные условия, уровень развития болезни и фенофазу развития растений. Наиболее распространенная схема обработки предполагает проведение опрыскиваний в фазах кущения и выхода в трубку, а также в период колошения, когда растение наиболее уязвимо. Однако более детальный мониторинг состояния посевов, проводимый в 2022–2024 гг., показал, что наибольшее рас-

пространение мучнистой росы наблюдается в фазе флагового листа. В ходе исследований был проведен детальный учет вредоносности мучнистой росы на протяжении всего вегетационного периода. Наблюдения проводили в фенофазах кущения, выхода в трубку, флагового листа, колошения и молочной спелости. Результаты показали, что признаки заболевания проявляются еще в фазе выхода в трубку. Однако максимальное распространение и интенсивность поражения наблюдались именно в фазе флагового листа. Это объясняется высокой плотностью и размером листьев флагового яруса, что создает благоприятные условия для развития грибковой инфекции (табл. 2).

Таблица 2. Биологическая эффективность (%) фунгицидов в борьбе с мучнистой росой

(КБР, степная зона, 2022–2024 гг.)

Table 2. Biological efficiency (%) of fungicides against powdery mildew
(KBR, steppe area, 2022–2024)

Варианты опыта	Норма применения (л/га; кг/га)	Мучнистая роса		
		P	R	БЭ
Сорт Памяти Шатилова				
1. Контроль (без обработки)		79,3	25,6	-
2. Алирин-Б, Ж	4,0	54,4	14,5	31,4
3. Бактофорт, Ж	2,0	49,6	15,4	37,5
4. Трихоплант, СК	4,0	42,3	9,7	46,6
5. Колосаль, КМЭ	0,4	12,4	3,1	84,4
6. Геката, КМЭ	1,0	11,2	1,6	85,9
7. Эйс, ККР	1,0	9,4	0,6	88,1
Сорт Таулан				
1. Контроль (без обработки)		86,4	41,2	-
2. Алирин-Б, Ж	4,0	76,5	28,5	11,5
3. Бактофорт, Ж	2,0	74,2	19,2	14,1
4. Трихоплант, СК	4,0	69,7	5,7	19,3
5. Колосаль, КМЭ	0,4	16,5	2,0	80,9
6. Геката, КМЭ	1,0	10,2	1,5	88,2
7. Эйс, ККР	1,0	9,3	0,7	89,2

Примечание. Р – распространность, %; R – интенсивность развития болезни, %; БЭ – биологическая эффективность, %.

В результате проведенных исследований были отмечены распространность и развитие болезни мучнистой росы на сортах Памяти Шатилова и Таулан: распространность болезни составила 79,3 и 86,4 %, а развитие болезни – 25,6 и 41,2 % соответственно. Показатели распространности и интенсивности развития контрольных вариантов (без обработки) указывают, что сорт Памяти Шатилова более устойчив к возбудителю мучнистой росы, чем сорт Таулан. Такая же закономерность наблюдается по распространности и по интенсивности развития болезни по всем вариантам опыта. Если сравнить испытываемые фунгициды по биологической эффективности, биофунгициды оказались заметно слабее химических фунгицидов.

Существенное снижение распространения и развития болезни обеспечили химические фунгициды в вариантах 5 (Колосаль, КМЭ); 6 (Геката, КМЭ) и 7 (Эйс, ККР), где развитие болезни было не выше 3,1%. Сравнительно вы-

сокое снижение развития мучнистой росы вызвал новый трехкомпонентный фунгицид – Эйс, ККР, который содержит 160 г/л требуконозола + 80 г/л пираклостробина + 40 г/л протиоконозола. Биологическая эффективность с применением этого препарата была самой высокой и составила по изучаемым сортам 88,1 и 89,2 % соответственно.

Таким образом, наибольшую эффективность в борьбе с возбудителем мучнистой росы проявил химический фунгицид Эйс, ККР (вариант 7) на сортах Памяти Шатилова и Таулан. Из биофунгицидов по биологической эффективности выделился Трихоплант, СК (вариант 4).

Анализ параметров структуры урожайности зерна озимой пшеницы на опытах показывает, что густота продуктивного стеблестоя и масса 1000 зерен являются основными факторами повышения биологической урожайности (табл. 3).

**Таблица 3. Параметры структуры урожайности зерна сортов озимой пшеницы
(Кабардино-Балкария, степная зона, 2022–2024 гг.)**
**Table 3. Grain yield structure parameters of winter wheat varieties
(KBR, steppe area, 2022–2024)**

Варианты опыта	Норма применения (л/га; кг/га)	Густота продуктивного стеблестоя, шт./ м ²	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Биологическая урожайность, т/га
Сорт Памяти Шатилова					
1. Контроль (без обработки)		379	34,9	35,1	4,6
2. Алирин-Б, Ж	4,0	334	36,1	39,8	4,8
3. Бактофорт, Ж	2,0	371	33,1	41,9	5,1
4. Трихоплант, СК	4,0	417	34,7	37,8	5,5
5. Колосаль, КМЭ	0,4	378	37,9	41,1	5,9
6. Геката, КМЭ	1,0	377	38,2	38,6	5,6
7. Эйс, ККР	1,0	369	38,1	41,3	5,8
НСР _{0,5}					0,4
Сорт Таулан					
1. Контроль (без обработки)		348	31,5	37,1	4,1
2. Алирин-Б, Ж	4,0	312	32,1	37,5	3,8
3. Бактофорт, Ж	2,0	390	26,3	36,4	3,7
4. Трихоплант, СК	4,0	420	27,1	35,6	4,1
5. Колосаль, КМЭ	0,4	412	28,1	38,9	4,5
6. Геката, КМЭ	1,0	408	25,2	39,7	4,1
7. Эйс, ККР	1,0	406	27,0	39,8	4,4
НСР _{0,5}					0,1

Средняя биологическая урожайность сорта Памяти Шатилова составила 5,3 т/га; сорта Таулан – 4,1 т/га, что на 1,2 т/га меньше, чем у Памяти Шатилова. При оценке связи биологической урожайности и густоты стеблестоя наличие растений озимой пшеницы более 370 шт./м² и выше определили их сравнительно высокую продуктивность.

Среди испытанных биофунгицидов на сортах Памяти Шатилова и Таулан наиболее эффективным оказался вариант 4 (Трихоплант, СК), где биологическая урожайность достигла показателей 5,5 и 4,1 т/га соответственно.

Химический фунгицид Колосаль, КМЭ на обоих сортах продемонстрировал наивысшую эффективность в сравнении с остальными вариантами опыта, обеспечив биологическую урожайность на уровне 5,9 и 4,5 т/га соответственно. Тем не менее оба варианта (Трихоплант, СК и Колосаль, КМЭ) проявили максимальную результативность на сорте Памяти Шатилова.

Одним из важных факторов, определяющих биологическую урожайность зерна изучаемых сортов озимой пшеницы, является масса 1000 зерен. Эта величина у сорта Памяти Шатилова составила 35,1 г в контроле и до 41,9 г в варианте 3 (Бактофорт, Ж), на сорте Таулан масса 1000 зерен на контроле составила 37,1 г и имела значительные пределы – 35,6–39,8 г. Самое высокое значение показал вариант 7 (Эйс, ККР) – 39,8 г.

В результате проведенных исследований отмечено, что среднее значение биологической урожайности зерна на сортах Памяти Шатилова и Таулан в вариантах, где применялись химические фунгициды, оказалось выше, чем в вариантах, где были использованы биофунгициды, на 0,7 и 0,4 т/га соответственно.

Таким образом, исследования показали, что использованные фунгициды не имели отрицательного влияния на потенциальные параметры структуры урожайности растений озимой пшеницы.

Выводы. По результатам изучения эффективности применения фунгицидов против мучнистой росы на посевах озимой пшеницы сортов Памяти Шатилова и Таулан можно сделать следующие выводы:

- при проведении мониторинга фитосанитарной ситуации на посевах озимой пшеницы выявлен наиболее вредоносный фитопатоген – мучнистая роса;
- наибольшую эффективность в борьбе с возбудителем мучнистой росы на сортах Памяти Шатилова и Таулан проявил химический фунгицид Эйс, ККР; из биофунгицидов – Трихоплант, СК;
- содержание белка на сорте Памяти Шатилова колеблется от 8,8 % (в контроле) до 12,8 % в варианте 2 (Алирин-Б, Ж), на сорте Таулан – в пределах от 8,1 % (контроль) до 11,7 % (вариант 2). Биофунгицид Алирин-Б, Ж способствует устойчивому содержанию белка на обоих изучаемых сортах пшеницы;
- проведенные исследования показали, что использованные фунгициды не имели отрицательного влияния на потенциальные параметры структуры урожайности растений озимой пшеницы.

Финансирование. Исследования проводили в рамках выполнения Государственного задания Минобрнауки по теме «Разработать систему рационального применения средств химической и биологической защиты сортов и гибридов зерновых культур от вредных организмов в условиях КБР» (Рег. № НИОКР: 124020700013-8).

Библиографический список

1. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Кабардино-Балкарской Республики / Под ред. М.М. Чочаева. Нальчик: Принт-Центр, 2022. С. 33. ISBN: 978-5-907499-53-9. EDN: VBVDUY
2. Говоров Д.Н., Живых А.В., Щетинин П.Б. Демонстрационные опыты – наглядный способ сравнения пестицидов // Защита и карантин растений. 2017. № 8. С. 40–41. EDN: ZDWLFN
3. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2023 год [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2023-god/> (Дата обращения 10.03.2025).
4. Доронин В.Г., Ледовский Е.Н., Пахотина И.В. и др. Биологическая эффективность баковых смесей препаратов для защиты яровой пшеницы и их влияние на качество зерна // Агрохимия. 2023. № 9. С. 42–49. DOI: 10.31857/S0002188123090053
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 6-е, стереотип., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 351 с. ISBN: 978-5-903034-96-3. EDN QLCQEP.
6. Кекало А.Ю., Немченко В.В., Заргарян Н.Ю. и др. Современный подход к вопросу защиты пшеницы от болезней и вредителей // Земледелие. 2020. № 5. С.41–45. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10511
7. Комарова О.П., Козенко К.Ю., Земляницина С.В. Биологическая защита растений – одно из основных направлений снижения пестицидной нагрузки на агроценозы // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 9-1(111). С. 98–102. DOI: 10.23670/IRJ.2021.9.111.016
8. Парпурा Д.И., Войнова М.С., Сидорцов А.И. Оценка эффективности фунгицидов при однодвукратном применении в посевах озимой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 25–28. DOI: 10.28983/asj.y202218pp25-28
9. Слободчиков А.А. Влияние фитосанитарных средств на урожайность сортов яровой пшеницы сибирской селекции // Земледелие. 2021. № 1. С 40–44. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10110
10. Соломатин А.В., Новиков С.Ю., Гармаш Н.Ю. и др. Влияние средств защиты растений на отзывчивость сортов зерновых культур при возделывании по технологиям разной степени интенсивности // Плодородие. 2022. № 6. С. 29–32. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.08
11. Тойгильдин А.Л., Аюпов Д.И., Тойгильдина И.А. Эффективность применения средств защиты растений от болезней при возделывании озимой пшеницы // Вестник Ульяновской ГСА. 2017. № 3(39). С. 26–33. DOI: 10.18286/1816-4501-2017-3-26-33
12. Хромова Л.М., Шабатуков А.Х., Малкандуева А.Х. Влияние фунгицидов в смеси с регуляторами роста на продуктивность новых сортов озимой пшеницы // Вестник Казанского ГАУ. 2024. Т. 19, № 1(73). С. 23–27. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-23-27
13. Чумаков А.И., Захарова Т.И. Вредоносность болезней сельскохозяйственных культур. ВАСХНИЛ, ВНИИ защиты растений. М.: Агропромиздат, 1990. С. 18–21. ISBN 5-10-001995-6
14. Шабатуков А.Х. Устойчивость сортов озимой пшеницы к возбудителям болезней // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52, № 3. С. 46–51. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-3-5
15. Шутко А.П., Тутуржанс Л.В. Фитосанитарная диагностика болезней растений. Ставрополь: АГРУС, 2018. С. 13–15. ISBN 978-5-9596-1515-4

References

1. Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya Kabardino-Balkarskoi Respubliki [Adaptive landscape farming systems of the Kabardino-Balkaria republic] / Pod red. M.M. Chochaeva. Nal'chik: Print-Tsentr, 2022. S. 33. ISBN: 978-5-907499-53-9. EDN: VBVDUY
2. Govorov D.N., Zhivikh A.V., Shchetinin P.B. Demonstratsionnye opyty – naglyadnyi sposob sravneniya pestitsidov [Demonstration experiments as a visual method for comparing pesticides] // Zashchita i karantin rastenii. 2017. № 8. S. 40–41. EDN: ZDWLFN
3. Gosudarstvennyi katalog pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na territorii Rossiiskoi Federatsii. 2023 god [Elektronnyi resurs] [State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use in the Russian Federation. 2023 [e-resource]]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-dep-rast-gos-ysl-agrohim-arh-2023-god/> (Data obrashcheniya 10.03.2025).
4. Doronin V.G., Ledovskii E.N., Pakhotina I.V. i dr. Biologicheskaya effektivnost' bakovykh smesei preparatov dlya zashchity yarovoii pshenitsy i ikh vliyanie na kachestvo zerna [Biological efficiency of tank mixtures of spring wheat protective products and their effect on grain quality] // Agrokhimiya. 2023. № 9. S. 42–49. DOI: 10.31857/S0002188123090053
5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovanii) [Methodology of a field trial (with fundamentals of statistical analysis of the study results)]. Izd. 6-ye, stereotip., perepech. s 5-go izd. 1985 g. M.: Al'yans, 2011. 351s. ISBN: 978-5-903034-96-3. EDN QLCQEP.
6. Kekalo A.Yu., Nemchenko V.V., Zargaryan N.Yu. i dr. Sovremennyi podkhod k voprosu zashchity pshenitsy ot boleznei i vreditelei [A modern approach to protecting wheat from diseases and pests] // Zemledelie. 2020. № 5. S.41–45. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10511
7. Komarova O.P., Kozenko K.Yu., Zemlyanitsyna S.V. Biologicheskaya zashchita rastenii – одно из основных направлений снижения пестицидной нагрузки на агроценозы [Biological plant protection as one of the keyways to reduce pesticide on agrocenoses] // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2021. № 9–1 (111). S. 98–102. DOI: 10.23670/IRJ.2021.9.111.016
8. Parpura D.I., Voinova M.S., Sidortsov A.I. Otsenka effektivnosti fungitsidov pri odno- i dvukratnom primenenii v posevakh ozimoi pshenitsy v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [Estimation of fungicide

efficiency with its single and double applications in winter wheat crops in the lower Volga region] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2022. № 8. S. 25–28. DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp25-28

9. Slobodchikov A.A. Vliyanie fitosanitarnykh sredstv na urozhainost' sortov yarovoii pshenitsy sibirskoi selektsii [The effect of phytosanitary controls on productivity of Siberian spring wheat varieties] // Zemledelie. 2021. № 1. S 40–44. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10110

10. Solomatin A.V., Novikov S.Yu., Garmash N.Yu. i dr. Vliyanie sredstv zashchity rastenii na otzychivost' sortov zernovykh kul'tur pri vozdelyvanii po tekhnologiyam raznoi stepeni intensivnosti [The effect of plant protection products on the response of grain crop varieties to different cultivation intensities] // Plodorodie. 2022. № 6. S. 29–32. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.08

11. Toigil'din A.L., Ayupov D.I., Toigil'dina I.A. Effektivnost' primeneniya sredstv zashchity rastenii ot bolezni pri vozdelyvanii ozimoi pshenitsy [The efficiency of plant protection products against diseases in winter wheat cultivation] // Vestnik Ul'yanovskoi GSA. 2017. № 3(39). S. 26–33. DOI: 10.18286/1816-4501-2017-3-26-33

12. Khromova L.M., Shabatukov A.Kh., Malkandueva A.Kh. Vliyanie fungitsidov v smesi s regulyatorami rosta na produktivnost' novykh sortov ozimoi pshenitsy [The effect of fungicides mixed with growth regulators on productivity of new winter wheat varieties] // Vestnik Kazanskogo GAU. 2024. T. 19, № 1(73). S. 23–27. DOI: 10.12737/2073-0462-2024-23-27

13. Chumakov A.I., Zakharova T.I. Vrednosnost' bolezni sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Harmfulness of agricultural crop diseases]. VASKhNIL, VNII zashchity rastenii. M.: Agropromizdat, 1990. S. 18–21. ISBN 5-10-001995-6

14. Shabatukov A.Kh. Ustoichivost' sortov ozimoi pshenitsy k vozбудителям boleznei [Resistance of winter wheat varieties to disease pathogens] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2022. T. 52, № 3. S. 46–51. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-3-5

15. Shutko A.P., Tuturzhans L.V. Fitosanitarnaya diagnostika boleznei rastenii [Phytosanitary diagnostics of plant diseases]. Stavropol': AGRUS, 2018. S. 13–15. ISBN 978-5-9596-1515-4.

Поступила: 04.04.25; доработана после рецензирования: 28.07.25; принята к публикации: 05.08.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шабатуков А.Х. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и их интерпретация, выполнение полевых работ; Шипшева З.Л. – выполнение полевых работ, сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РАЗВИТИЯ ЧЕРЕМУХОВО-ЗЛАКОВОЙ ТЛИ *RHOPALOSIPHUM PADI* (L.) ПРИ ПИТАНИИ НА ЗЛАКАХ

Е.С. Гандрабур, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории энтомологии, helenagandrabur@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9851-9799;

А.Б. Верещагина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории энтомологии, aphidabver@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1342-5350;

Н.С. Клименко, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории энтомологии, ns-klimenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5432-6466;

Ф.К. Еремеев, инженер лаборатории энтомологии, 9649233@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5031-276X

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (ВИЗР), 196608 г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, ш. Подбельского, д. 3, e-mail: info@vizr.spb.ru

Черемухово-злаковая тля *Rhopalosiphum padi* (L.) – распространенный вредитель зерновых культур. Для контроля ее вредоносности требуется надежный метод оценки численности и расселения тлей в полевых условиях и при скрининге устойчивых образцов для питания фитофага в вегетационных. Особенности поведения бегства или выбора скрытых мест питания бескрылых особей в пределах растения, а также фактор окрыления потомства при питании на злаковых травах изучены недостаточно, хотя имеют важное значение для размножения и вредоносности тлей. Целью настоящей работы была оптимизация методических подходов к оценке численности *R. padi* в связи с особенностями ее топического распределения и окрыления. В результате полевых исследований и модельных опытов были выявлены особенности топического распределения *R. padi*, на которые не обращали внимания при учетах. Показано, что при питании на пшенице (с. Ленинградская 6) и злаковых травах 10 видов в период «кущение–начало стеблевания» тли могут находиться ниже поверхности почвы. Их максимальное количество составило 18,7 % на пшенице (поле) и 25,8 % на райграсе многоцветковом с. Tarquin (модельные опыты). Выявлено, что одной из причин таких миграций могут быть тактильные стимулы, в результате которых «скрытая» численность особей в модельных опытах (касание кисточкой) возрастила в среднем с 6,0 до 11,5 %. Эту особенность следует учитывать при оценке плотности популяции *R. padi*. В работе охарактеризован крыловый диморфизм тлей и роль обоих летних морфотипов в повреждении растений. Использование крылатых самок при скрининге пригодности растений для питания тлей вызывает трудности, связанные с их летной активностью. Выявлено, что воздействия на крылья матери имитируют «эффект скученности», повышают окрыление потомков путем пренатальной трансгенеративной передачи соответствующих сигналов, искают результаты оценки и не могут применяться.

Ключевые слова: топическая специализация, поле, почва, миграции, крыловый диморфизм, тактильные стимулы.

Для цитирования: Гандрабур Е.С., Верещагина А.Б., Клименко Н.С., Еремеев Ф.К. Особенности оценки развития черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* (L.) при питании на злаках // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17. № 6. С. 113–120. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-101-6-113-120.



PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF THE BIRD CHERRY APHID *RHOPALOSIPHUM PADI* (L.) FEEDING ON CEREALS

E.S. Gandrabur, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for entomology, helenagandrabur@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9851-9799;

A.B. Vereshchagina, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for entomology, aphidabver@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-1342-5350;

N.S. Klimenko, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for entomology, ns-klimenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5432-6466;

F.K. Eremeev, engineer of the laboratory for entomology, 9649233@gmail.com, ORCID: 0009-0009-5031-276X

FSBSI All-Russian Research Institute of Plant Protection (VIZR), 196608, St. Petersburg, Pushkin, Pobelsky Av., 3, e-mail: info@vizr.spb.ru

Bird cherry aphid *Rhopalosiphum padi* (L.) is a common pest of grain crops. To control its harmfulness, there is a great necessity in a reliable method to estimate aphid abundance and spread in the field and to fulfil screening of resistant accessions for feeding in vegetation. The flight behavior patterns or selection of hidden sites by wingless insects within plants, as well as the wing emergence of offspring on cereal grasses, have been poorly studied, although they are important for aphid reproduction and harmfulness. The purpose of the current study was to optimize methodological approaches to estimating *R. padi* abundance due to its specific topical distribution and wing emergence. The field study and model trials have identified the features of *R. padi*'s topical distribution that had been overlooked. There has been shown that aphid can remain below the soil surface when feeding on wheat (the variety 'Leningradskaya 6') and 10 species of cereal grasses during the period of 'tillering-early stem formation'. Their maximum abundance was 18.7 % on wheat (field) and 25.8 % on multiflora ryegrass (Tarquin) (model trials). There has been found that one of the causes of such migrations may be tactile stimuli, as a result of which the "hidden" number of insects in model trials (touching with a brush) has increased on average from 6.0 to 11.5 %. This feature

should be taken into account when assessing *R. padi* population density. The current work has characterized the wing dimorphism of aphids and the role of both summer morphotypes in plant damage. The use of winged females to screen for plant suitability for aphid feeding poses challenges because of their flight activity. There has been found that female wing manipulations, which simulate the "crowding effect" and increase wing emergence of offspring through prenatal transgenerational transmission of relevant signals, distort the estimation results and cannot be used.

Keywords: topical specialization, field, soil, migration, wing dimorphism, tactile stimuli.

Введение. Черемухово-злаковая тля *Rhopalosiphum padi* (L.) относится к широко распространенным и вредоносным видам фитофагов. На северо-западе ареала *R. padi* зимует на черемухе обыкновенной *Prunus avium* Mill. в фазе яйца. Весной из яиц выходят основательницы, каждая из которых дает начало клонам, составляющим популяцию путем партеногенеза и живорождения до образования обоеполого поколения осенью. В потомстве основательниц появляются сначала бескрылые, а затем крылатые особи (эмигранты), мигрирующие главным образом на зерновые и частично – на кормовые культуры и дикорастущие злаки (Radchenko, E.E.; Abdullaev, R.A.; Anisimova, I.N., 2022; Soma N., Kikuta S., 2025; Ogawa, Miura, 2014). Летом потомки эмигрантов на травах рождают не только бескрылых, но и крылатых особей, которые расселяются в пределах ландшафтов и способны к переносу вирусов с больных растений на здоровые. После уборки зерновых культур тли перелетают на кукурузу и продолжают активно расселяться на культивируемые кормовые и дикорастущие травы, где размножаются до ремиграции на зимнего хозяина (Wiktelius, 1987). Развитие бескрылых и крылатых потомков (крыловый диморфизм) у одного и того же генотипа (клона) относится к явлению полифенизма и отражает высокую феногенетическую пластичность, свойственную тлям. Выраженность крылового полифенизма зависит от многих факторов окружающей среды, но к основным относят плотность поселения («эффект скученности»), качество хозяина и наличие энтомофагов (Ogawa, Miura, 2014). Быстро адаптироваться к внешним условиям и стремительно размножаться позволяет характерное для тлейпренатальное телескопическое наложение эмбрионов и способность передачи стимулов внешней среды от живородящей матери потомству (трансгенеративно) (Ogawa, Miura, 2014). В целом средообразующие и генетические факторы, регулирующие крыловый полифенизм у тлей, изучены еще недостаточно, хотя имеют не только фундаментальное, но и важное практическое значение в связи с миграциями этих насекомых между травами и переносом вирусных инфекций. В кругу летних хозяев *R. padi* выявлено 183 вида, большинство из которых относится к сем. Мятликовых (Poaceae) (Favret, 2025). Однако их предпочтение и особенности колонизации тлями изучены недостаточно. Как и у других флоэмопитающих видов тлей, топическая и онтогенетическая специализация *R. padi* ограничивается приуроченностью к зонам роста растений, где наиболее выражен приток ассимилятов (Голиванов и др., 2021). Распределение тлей на растени-

ях варьирует не только в зависимости от интенсивности транспорта питательных веществ по флоэме, онтогенеза и архитектуры кормовых растений, но и микроклимата, механических препятствий, наличия других видов тлей, численности колоний, погодных условий, энтомофагов (Wiktelius. 1987). Лишняя растения питательных веществ в зонах роста, тли способны угнетать рост растений и снизить урожай до 60 %, а в случае переноса вирусной инфекции потери еще больше (Шпанев, Берим, 2024). Происходящее глобальное потепление климата грозит повышением вредоносности тлей в связи с перестройками в агроландшафтах, расширением ареалов растений и насекомых, изменениями в жизненных циклах, динамике численности этих вредителей и переносимых ими вирусов. Вместе с этим, возрастает необходимость контроля состояния популяций тлей в агробиоценозах. Как правило, защита растений от повреждения тлями опирается на химические обработки и возделывание устойчивых сортов. Оба метода требуют предварительных учетов численности и расселения (интенсивности крылообразования) фитофага как в процессе возделывания культур, так и в вегетационных условиях при оценке устойчивости образцов.

В полевых условиях большинство методик, характеризующих развитие тлей, в том числе и *R. padi*, ориентированы на учеты насекомых, питающихся только на надземных частях растений (Simon et al., 2021; Gao et al., 2023), хотя в литературе имеются сведения о нахождении тлей ниже поверхности почвы (Wiktelius, 1987). Способность тлей к расселению оценивают при низкой численности вредителя по количеству заселенных растений. Изучение устойчивости растений в вегетационных условиях проводят в основном по характеристике скорости размножения только бескрылых особей *R. padi*. Вариабельность в объеме и составе потомства у бескрылых самок предполагает предусмотреть меры по сокращению факторов, влияющих на разброс этих параметров: клonalный состав, качество материнского хозяина, трансгенеративные ответы на пренатальную скученность и другие тактильные стимулы (Ogawa, Miura, 2014). При лабораторных исследованиях показатели окрыления потомства оценивались крайне редко, различия в демографических и поведенческих показателях у обоих летних морфотипов *R. padi* и других тлей не учитывались, хотя и доказаны (Gandrabur et al., 2023). Количественных исследований, касающихся их базовых потребностей, например, защиты от опасностей (поведение бегства), очень мало. Цель настоящей работы – оптимизация методических подходов к оценке численности

R. padi в связи с особенностями ее топического распределения и окрыления.

Материалы и методы исследований.

Вегетационные опыты были проведены во Всероссийском НИИ защиты растений (ВИЗР),

полевые учеты – на территории Пушкинской опытной станции Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР). В качестве кормовых растений *R. padi* использовали 10 видов злаков (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика экспериментальных образцов злаков
Table 1. Characteristics of experimental cereal samples

Вид растения	Сорт	№ по каталогу ВИР	Происхождение сорта	Место репродукции семян	Год репродукции семян
Овсяница луговая <i>Festuca pratensis</i> Huds	Сахаровская	37137	Тверская обл.	Павловская опытная станция	2020
Овсяница тростниковая <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.	Кировская 50	44742	Кировская обл.	Павловская опытная станция	2020
Райграс многоцветковый <i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Tarquin	47144	Великобритания	Московская опытная станция	2016
	Alamo	54256	Дания	оригинал	2020
Райграс пастбищный <i>Lolium perenne</i> L.	Scherkock	54242	Германия	оригинал	2020
Пырей средний <i>Elytrigia intermedia</i> (Host) Nevski	Luna	37663	Канада	Адлерская опытная станция	2023
Пырей удлиненный <i>Elytrigia elongata</i> (Host) Nevski	Targo	45404	Йемен	Екатерининская опытная станция	2020
Ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i> L.	Триада	48628	Ленинградская обл.	Павловская опытная станция	2020
Костер полевой <i>Bromus arvensis</i> L.	дикорастущий	47563	Польша	Китай	2012
Фестулолиум <i>Festulolium (Lolium perenne x Festuca arundinacea)</i>	Дебют	50621	Свердловская обл.	Павловская опытная станция	2022
	Червень	53267	Беларусь	Павловская опытная станция	2022
Пшеница яровая <i>Triticum aestivum</i> L.	Ленинградская 6	64900	Ленинградская обл.	Санкт-Петербург–Пушкин	2019

Семена были получены из мировой коллекции ВИР. Образцы оценивали в июне–июле 2024 года. В полевых условиях использовали пшеницу сорта Ленинградская 6. Посевы располагались на 30 делянках площадью 1 м² по 100 растений в каждой. Учеты были проведены на естественном фоне заселения, когда растения находились в начале фазы выхода в трубку (середина июня). Для этого с каждой делянки аккуратно выкапывали все растения и подсчитывали количество тлей, находившихся выше и ниже поверхности почвы на каждом растении. Влияние тактильных стимулов на миграцию тлей ниже поверхности почвы изучали в вегетационных условиях. При этом по 10 растений пшеницы сорта Ленинградская 6 выращивали в 20 керамических сосудах диаметром 18 см и содержали под навесом при естественной температуре и влажности воздуха. Когда растения находились в фазе кущения, в каждый из сосудов помещали по одной молодой бескрылой самке и накрывали изолятором из спанбонда. В десяти сосудах тлей ежедневно тревожили кисточкой (стимул для реакции бегства). Через 14 суток сначала подсчитывали и удаляли тлей на растениях выше уровня почвы. Затем сосуды помещали в ведро с водой, достигающей середины растений. Через два часа тли, находившиеся ниже почвы, перемещались в верхнюю часть растений, где их мож-

но было подсчитать. Количество тлей ниже уровня почвы выражали в процентах к общей сумме тлей (П14). Аналогично заселяли, беспокоили и подсчитывали тлей на злаковых травах.

Для оценки пригодности растений для размножения тлей мы использовали не только бескрылых, но и крылатых особей. Чтобы ускорить оседание крылатых самок, которые могут мигрировать внутри садков несколько дней и вызывать дополнительные наблюдения за их поведением до начала питания, мы использовали прием скручивания концов крыльев и сравнили влияние такого подхода на крыловой диморфизм потомства. В качестве кормовых растений применяли оптимального (пшеница сорта Ленинградская 6) и неоптимального хозяев (ежа сборная сорта Триада) в фазе кущения (табл. 1). Заселяли по 8 растений каждого образца. С этой целью были испытаны крылатые самки из четырех клонов, выделенных из колоний одиночных основательниц, изолированных на побегах черемухи в период выхода из яиц. В раздельные сосуды с растениями подсаживали по одной контрольной (целевые крылья) и одной опытной (скрученные крылья) самке и накрывали изоляторами. Сравнивали окрыление потомства через 14 дней начальной репродукции (П14) у особей с целыми и скрученными крыльями.

Температуру воздуха во время экспериментов измеряли с помощью термометра Thomas Scientific labForce®, также учитывали коли-

чество дней с осадками (табл. 2). Сильных ливневых дождей в период полевых исследований (июнь) не отмечалось.

Таблица 2. Погодные условия в период исследований
Table 2. Weather conditions during the study period

Месяц	Температура воздуха (t °C)				Осадки, дни
	средняя, день	средняя, ночь	min	max	
Июнь	22	15	11	28	10
Июль	24	18	16	32	10
Август	22	16	13	27	17

Анализ результатов исследований проводили при помощи программного обеспечения StatSoft® STATISTICA 12 с использованием корреляционного анализа и критерия Стьюдента (t-критерия).

Результаты и их обсуждение. В Ленинградской области *R. padi* предпочитает заселять яровые зерновые культуры. В начале июня, когда растения находятся в фазе всходов, на посевах появляются первые эмигранты с черемухи. Далее происходит быстрое увеличение численности тлей, и к концу фазы кущения – началу стеблевания могут появиться большие колонии (Шпанев, Берим, 2024). В этот период в онтогенезе пшеницы происходит образование стеблевого узла, интенсивный рост корней, закладка побегов и колосков, поэтому очень

важно не допустить повреждений растений и определить необходимость химической обработки. Для оценки заселения посевов тлями используют желтые водные ловушки, установленные на почве, и визуальные учеты численности тлей только на видимых частях растений (Шпанев, Берим, 2024; Simon et al., 2021). На желтые ловушки летят только крылатые особи, видовой состав которых оценить не очень просто, так как определители в основном составлены по признакам бескрылых. Оценка заселенности только надземных частей растений не учитывает возможность размещения тлей ниже уровня почвы, хотя такое поведение вредителя известно (Wiktelius, 1987). Мы провели учеты численности вредителя как выше, так и ниже уровня почвы в узле кущения (табл. 3).

Таблица 3. Локализация *Rhopalosiphum padi* (L.) ниже поверхности почвы в поле при питании на яровой пшенице сорта Ленинградская 6 в фазы кущения – начала выхода в трубку
Table 3. Localization of *Rhopalosiphum padi* (L.) below the soil surface in the field when feeding on the spring wheat variety 'Leningradskaya 6' during the period 'tillering – early booting phase'

№ п/п	Сумма тлей/10 растений	Количество тлей ниже поверхности почвы, %	№ п/п	Сумма тлей/10 растений	Количество тлей ниже поверхности почвы, %
1	99 ± 4,7	0	16	155 ± 19,4	2,6
2	94 ± 3,3	0	17	161 ± 20,0	0
3	121 ± 8,5	13,2	18	76 ± 11,2	0
4	35 ± 5,2	0	19	141 ± 18,3	0
5	26 ± 3,0	0	20	257 ± 35,4	4,3
6	107 ± 9,7	18,7	21	272 ± 27,3	3,3
7	121 ± 8,8	14,9	22	228 ± 21,9	0
8	226 ± 33,6	12,8	23	69 ± 7,2	0
9	34 ± 9,2	11,8	24	28 ± 4,2	0
10	132 ± 11,4	10,6	25	160 ± 12,2	0
11	361 ± 25,8	5,8	26	78 ± 9,7	0
12	353 ± 30,3	9,1	27	51 ± 7,7	0
13	89 ± 9,9	4,5	28	267 ± 30,0	4,1
14	54 ± 3,7	0	29	355 ± 23,7	5,1
15	123 ± 15,8	8,1	30	113 ± 8,8	6,2
	Х ± SE			146,2 ± 18,2	4,5 ± 1,0

Максимум особей во втором случае составил 18,7 % от общего количества. На растениях (46,7 %) с низкой численностью насекомых тли питались на листьях и стебле. Была выявлена положительная корреляция средней силы между общей суммой особей *R. padi* и ее количеством в узле кущения под землей ($r = 0,66$; $p = 0,000$; $r^2 = 0,43$). Такое распределение

R. padi может быть следствием ухода от повышенных температур, которые наблюдались летом 2024 г. (табл. 2): показано, что на глубине 5–10 мм температура может быть на 10 °C ниже, чем на поверхности почвы (Wiktelius, 1987). Кроме того, быстрый рост стебля и легкая досягаемость сосудов флоэмы в нижней части растений должна привлекать тлей. Энтомофаги

или другие неблагоприятные условия также могут вызвать «бегство» фитофага. В вегетационных условиях мы проверили возможность перемещения бескрылых особей и личинок под землю при воздействии тактильных стимулов, которые могут исходить от энтомофагов, при скученности в колониях или подсчете ли-

чинок в опытах при благоприятной температуре и влажности. Показано, что тли мигрируют не только в зависимости от температуры, но и в поиске выгодных мест питания, беспокойство тлей кисточкой почти вдвое усиливало их уход под землю (табл. 4).

Таблица 4. Влияние беспокойства на миграцию *Rhopalosiphum padi* (L.) ниже уровня почвы при питании на пшенице сорта Ленинградская 6 в фазу кущения (лаборатория)

Table 4. Effect of disturbance on migration of *Rhopalosiphum padi* (L.) below the soil surface when feeding on the spring wheat variety 'Leningradskaya 6' during tillering (laboratory)

П14*	Касания кисточкой нет		Касание кисточкой есть		
	Ниже почвы		П14	Ниже почвы	
	особи	%		особи	%
1	2	3	4	5	6
182	10	5,5	296	32	10,8
246	19	7,3	144	20	13,9
298	21	7	251	17	6,8
197	15	7,6	173	25	14,5
216	9	4,2	213	27	12,7
312	17	5,4	150	14	9,3
279	11	3,9	198	29	14,6
160	14	8,8	242	23	9,5
217	7	3,2	284	19	6,7
316	21	6,6	221	35	15,8
242,3 ± 17,8	14,4 ± 1,6	6,0 ± 0,57	217,2 ± 16,6	24,1 ± 2,1	11,5 ± 1,1

Примечание. * П14 – количество потомков одной бескрылой самки на 10-ти растениях за первые 14 дней репродукции.

В целом, в вегетационных условиях как в контролльном (отсутствие беспокойства кисточкой), так и в опытном вариантах в подповерхностном слое почвы оказалось больше тлей, чем в полевых условиях (табл. 3; 4). Возможно, наблюдаемая реакция связана с более продвинутой фазой развития растений в поле, чем в модельных опытах, или другими факторами. В среднем в контроле при плотности $242,3 \pm 17,8$ особей/10 растений ниже уровня почвы было обнаружено $6,0 \pm 0,57$ % тлей, а в опытном варианте (касание кисточкой) – $217,2 \pm 16,6$ и $11,5 \pm 1,1$ соответственно (табл. 4). В контроле показана тенденция связи между общей численностью тлей и их количеством ниже уровня почвы ($r = 0,60$; $p = 0,07$; $r^2 = 0,36$), в опытном варианте связи не обнаружено, что, возможно, характеризует индивиду-

альные различия тлей в реакции на беспокойство или влияние других факторов.

При мониторинге тлей важно отслеживать формирование очагов их размножения на многолетних культивируемых и дикорастущих хозяевах при благоприятных условиях и после химических обработок посевов зерновых культур. Перелетая из природных стаций в агроценозы, тли могут вторично заселят посевы и переносить вирусные инфекции. Сведения о топическом распределении *R. padi* на многолетних злаках практически отсутствуют. На примере восьми видов трав показана вероятность размещения колоний тлей в узле кущения ниже поверхности почвы даже в большей степени, чем на пшенице. В группу растений со значительно более высоким заселением подземной части растений вошли овсяница луговая и виды райграса (табл. 5).

Таблица 5. Размещение колоний *Rhopalosiphum padi* (L.) ниже поверхности почвы при питании на растениях различных видов

Table 5. Distribution of *Rhopalosiphum padi* (L.) below the soil surface when feeding on different plant species

Вид растения	Сорт растения	Каталог ВИР	п	П14*	Количество тлей ниже поверхности почвы, %
Овсяница луговая	Сахаровская	37137	5	163,0 ± 50,1 б	20,2 ± 6,3 а
Райграс многоцветковый	Tarquin	47144	3	130,7 ± 40,7 б	25,8 ± 3,4 а
	Alamo	54256	3	189,7 ± 17,5 а	20,4 ± 3,9 а
Райграс пастбищный	Scherkock	54242	3	153,7 ± 50,0 б	20,8 ± 2,9 а
Костер полевой	дикорастущий	47563	3	122,7 ± 6,7 с	9,4 ± 1,0 с
Фестуллополиум	Дебют	50621	5	101,4 ± 28,3 с	15,3 ± 2,7 б
	Червень	53267	7	126,0 ± 23,6 с	17,0 ± 2,1 б
Овсяница тростниковая	Кировская 50	44742	3	180,3 ± 51,8 а	10,9 ± 1,4 с

Продолжение табл. 5

Вид растения	Сорт растения	Каталог ВИР	n	П14*	Количество тлей ниже поверхности почвы, %
Пырей средний	Luna	41625	3	174,0 ± 25,8 а	12,1 ± 1,9 с
Пырей удлиненный	Targo	45404	3	81,7 ± 8,4 с	7,7 ± 0,7 с
Х ± SE				152,3 ± 11,1	16,0 ± 1,9
HCP _{0,05}				35,0	6,0

Примечание. * – см. таблицу 4; средние значения в одном столбце, за которыми следуют разные буквы, статистически различаются при критическом уровне значимости $p = 0,05$.

Достоверной корреляции между плотностью колоний и объемом мигрировавших тлей в данном варианте, как и на пшенице, не обнаружено. Отсутствие такой связи предполагает при сравнительно невысокой плотности вредителя большее влияние других факторов, например, выигрышность в питании в узле кущения. Преадаптивная основа тяготения *R. padi* к подземной локализации, возможно, исходит из ее родословной. Из 15 видов тлей р. *Rhopalosiphum* Koch. два вида – *R. rufiabdominale* Sasaki; *R. oxuacantheae* (Schrank.) способны жить ниже уровня почвы, а *R. pumphaeae* (L.) – даже под водой (Favret, 2025).

Если бескрылые тли (как *R. padi*, так и другие виды) в основном мигрируют в пределах растений и в их основную задачу входит увеличение численности, то крылатые особи отличаются не только морфологически, но и по демографическим показателям и функциональной «обязанности» расселения (Ogawa, Miura, 2014; Gandrabur et al., 2023). На примере розанно-злаковой тли *Metopolophium dirhodum* Walk. нами показано, что на наблюдаемые различия в репродукции тлей больше влияли признаки отдельных морфотипов (фенотипов), чем их клоновая специфичность (Gandrabur et al., 2023). Можно предполагать, что оценка хозяев по пригодности для размножения и расселения тлей будет более достоверной, если ее проводить с использованием не только бескрылых, но и крылатых самок. Методы работы с бескрылыми особями разработаны достаточ-

но подробно (Simon et al., 2021), а с крылатыми предпочитают не работать. Учитывая, что предки тлей были крылатыми, диморфизм эволюировал от мономорфизма и стал результатом взаимодействия между генотипом и окружающей средой. Соответственно, трофические адаптации крылатых морфотипов оказывают более древними, чем бескрылых. До сих пор крылатые особи первыми заселяют кормовые растения, и не случайно их первые потомки, как правило, бескрылые и имеют генетическую программу не покидать, а адаптироваться к хозяину, активно размножаясь. Характеризуясь быстрой морфотипической реакцией на качество питания, дальнейшее потомство либо продолжает колонизацию, либо быстро расселяется, если хозяин не подходит. В противном случае крылатые тли покидают растение, когда плотность поселения становится высокой. Таким образом, более детальная оценка качества хозяина предполагает изучение развития не только бескрылых, но и крылатых самок. В отличие от бескрылых, работа с крылатыми особями затруднена особенностями их поведения в зависимости от срока окончания мотивации поиска места питания и оседания. С целью упрощения учетов у самок *R. padi* были скручены крылья. Контролем служили самки с крыльями без травм. Насекомые питались на благоприятном (пшеница сорта Ленинградская 6) и неблагоприятном (ежа сорта Триада) хозяевах (табл. 6).

Таблица 6. Влияние травмирования крыльев на количество окрыляющихся потомков у *Rhopalosiphum padi* (L.)
Table 6. Wing injury effect on the number of winged offspring of *Rhopalosiphum padi* (L.)

Растение-хозяин	Травмированные крылья			Нетравмированные крылья		
	n	П14*	Окрыление, %	n	П14	Окрыление, %
Пшеница яровая сорта Ленинградская 6	4	456,8 ± 65,1	13,1 ± 4,1	4	475,8 ± 135,3	0,0–1,47
Ежа сборная сорта Триада	4	156,5 ± 2,7	14,22 ± 3,6	4	46,75 ± 12,7	0,0–6,25

Примечание. * – см. таблицу 4.

Травмированные самки начали питаться в день подсадки и чувствовали себя хорошо. Однако на обоих хозяевах травмирование крыльев вызвало усиление окрыления потомства, а при питании на еже стимулировало размножение. Регуляция фенотипа, связанная с плотностью поселения у тлей, широко распространена, хотя рецепторы тактильных стимулов у бескрылых особей еще не идентифицированы,

а у крылатых не изучены (Ogawa, Miura, 2014). Скручивание крыльев имитировало тактильные стимулы. Оказалось, что они воспринимаются не только бескрылыми, но и крылатыми особями *R. padi*, меняя программу развития потомков через трансгенеративную передачу сигналов от матери к эмбрионам. Такой прием искажает картину восприятия хозяев тлями и не может быть использован при тестировании.

Выводы. Как топическая специализация, так и крыловой диморфизм возникли у тлей в процессе исторического формирования гостальной специфичности и жизненных циклов и отражают их адаптации к окружающей среде. К таким адаптациям относится способность *R. padi* питаться ниже уровня почвы, что необходимо учитывать для надежности оценки ее численности при скрининге образцов в вегетационных условиях, а также в посевах возделываемых злаков и на дикорастущих хозяевах, где могут быть скопления тлей. Эффективность использования контактных препаратов может быть снижена вследствие подземных миграций

R. padi. Степень повреждения растений *R. padi* зависит от скорости размножения и окрыления потомства как у крылатых, так и у бескрылых летних морфотипов тли. Таким образом, при тестировании образцов растений по пригодности для развития тлей лучше использовать оба морфотипа, учитывая, что тактильные воздействия могут быть неблагоприятны для *R. padi* и вызывать бегство под землю у бескрылых особей, а травмы крыльев – стимулировать окрыление в потомстве крылатых самок.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 24-76-10009).

Библиографический список

1. Голиванов Я.Ю., Зелененко В.В., Гриценко В.В. Особенности биологического развития черемухово-злаковой тли (*Rhopalosiphum padi*) в лабораторных условиях // Известия ТСХА. 2021. № 4. С. 142–148. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-142-148
2. Шпанев А.М., Берим М.Н. Видовой состав и обилие тлей в посевах зерновых культур Ленинградской области // Пермский аграрный вестник. 2024. № 3(47). С. 55–63. DOI: 10.47737/2307-2873_2024_47_55
3. Favret C., Aphid Taxon Community, eds. 2025 [Электронный ресурс] Blackman & Eastop's Aphids on the World's Plants, version 1.0. URL: <https://aphidsonworldsplants.info> (дата обращения 10.12.2025).
4. Gandrabur E., Terentev A., Fedotov A., Emelyanov D., Vereshchagina A. Peculiarities of *Metopolophium dirhodum* (Walk.) Population Formation Depending on Its Clonal and Morphotypic Organization during the Summer Period // Insects. 2023. Vol. 14, Article number: 271. DOI: 10.3390/insects14030271
5. Gao H., Shen Y., Chen L., Lai H., Yang H., Li G., Zhao S., Ge F. Effects of Varying Planting Patterns on Wheat Aphids' Occurrence and the Control Effect of Pesticide Reduction Spraying Process by Unmanned Aerial Vehicle // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, Iss. 21, Article number: 1916. DOI: 10.3390/app132111916
6. Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Anisimova I.N. Genetic Resources of Cereal Crops for Aphid Resistance // Plants. 2022. Vol. 11, Iss. 11, Article number: 1490. DOI: 10.3390/plants11111490
7. Simon A., J.C., Hammond-Kosack K., Field L.M. Identifying aphid resistance in the ancestral wheat *Triticum monococcum* under field conditions // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, Iss. 1. P. 13495. DOI: 10.1038/s41598-021-92883-9
8. Soma N., Kikuta S. Transgenerational Plasticity of Maternal Hemolymph Trehalose in Aphids // Arch Insect Biochem Physiol. 2025. Vol. 118, Iss. 1, Article number: e70030. DOI: 10.1002/arch.70030
9. Wiktelius, S. The role of grasslands in the yearly life-cycle of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) in Sweden // Ann. appl. Biol. 1987. Vol. 110. P. 9–15. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1987.tb03227.x

References

1. Golivanov Ya.Yu., Zelenenko V.V., Gritsenko V.V. Osobennosti biologicheskogo razvitiya cheremukhovo-zlakovoi tli (*Rhopalosiphum padi*) v laboratornykh usloviyakh [Biological development of the bird cherry aphid (*Rhopalosiphum padi*) in laboratory conditions] // Izvestiya TSKhA. 2021. № 4. С. 142–148. DOI: 10.26897/0021-342Kh-2021-4-142-148
2. Shpanev A.M., Berim M.N. Vidovoi sostav i obilie tlei v posevakh zernovykh kul'tur Leningradskoi oblasti [Species composition and abundance of aphids in grain crops in the Leningrad Region]// Permskii agrarnyi vestnik. 2024. № 3(47). С. 55–63. DOI: 10.47737/2307-2873_2024_47_55
3. Favret C., Aphid Taxon Community, eds. 2025 [Электронный ресурс] Blackman & Eastop's Aphids on the World's Plants, version 1.0. URL: <https://aphidsonworldsplants.info> (дата обращения 10.12.2025).
4. Gandrabur E., Terentev A., Fedotov A., Emelyanov D., Vereshchagina A. Peculiarities of *Metopolophium dirhodum* (Walk.) Population Formation Depending on Its Clonal and Morphotypic Organization during the Summer Period // Insects. 2023. Vol. 14, Article number: 271. DOI: 10.3390/insects14030271
5. Gao H., Shen Y., Chen L., Lai H., Yang H., Li G., Zhao S., Ge F. Effects of Varying Planting Patterns on Wheat Aphids' Occurrence and the Control Effect of Pesticide Reduction Spraying Process by Unmanned Aerial Vehicle // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, Iss. 21, Article number: 1916. DOI: 10.3390/app132111916
6. Radchenko E.E., Abdullaev R.A., Anisimova I.N. Genetic Resources of Cereal Crops for Aphid Resistance // Plants. 2022. Vol. 11, Iss. 11, Article number: 1490. DOI: 10.3390/plants11111490
7. Simon A., Caulfield J.C., Hammond-Kosack K., Field L.M. Identifying aphid resistance in the ancestral wheat *Triticum monococcum* under field conditions // Scientific Reports. 2021. Vol. 11, Iss. 1. P. 13495. DOI: 10.1038/s41598-021-92883-9
8. Soma N., Kikuta S. Transgenerational Plasticity of Maternal Hemolymph Trehalose in Aphids // Arch Insect Biochem Physiol. 2025. Vol. 118, Iss. 1, Article number: e70030. DOI: 10.1002/arch.70030
9. Wiktelius, S. The role of grasslands in the yearly life-cycle of *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) in Sweden // Ann. appl. Biol. 1987. Vol. 110. P. 9–15. DOI:10.1111/j.1744-7348.1987.tb03227.x

Поступила: 11.05.25; доработана после рецензирования: 26.07.25; принята к публикации: 05.08.25.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за plagiat.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Гандрабур Е.С., Верещагина А.Б., Клименко Н.С. – концептуализация исследования, подготовка опытов, выполнение полевых и вегетационных работ, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Еремеев Ф.К. – сбор данных, выполнение полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.