
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ
Т. 18, № 3. 2026 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);
Паштецкий В.С. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, ФГБНУ «НИИСХ Крыма» (Симферополь, Россия);
Плугатарь Ю.В. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «НБС-ННЦ» (Ялта, 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, ФГБНУ «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 Минобрнауки 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 – Скуйбеда О.Н.

Адрес учредителя и издателя: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.
Тел.: 8(863)594-36-89; E-mail: zhros.don@yandex.ru
Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.06.2026. Свободная цена
Дата выхода 28.06.2026. Формат 60х84/8. Тираж 200. Заказ №772
Отпечатано в ООО «Сулинполиграфсервис», г. Красный Сулин, ул. Ленина, 9.

THEORETICAL AND SCIENCE-PRACTICAL JOURNAL
GRAIN ECONOMY OF RUSSIA
Vol. 18, № 3. 2026

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);
Zein 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);
Pashtetsky V. S. – "Research Institute of Agriculture of Crimea" – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Simferopol, Russia);
Plugatar Yu. V. – FSBSI "NBG-NSC" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Yalta, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), 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)594-36-89; E-mail: zhros.don@yandex.ru

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.06.2026
The date of the issue is 28.06.2026. Format 60x84/8. Circulation 200. Order №772. Free price
Printed in Ltd «Sulinpoligrafservis», Krasny Sulin, Lenina Str., 9.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

- Ковтунов В.В., Брагинец С.В., Хабибуллин К.Н., Беланова О.А., Никитенко М.В.** Основные направления и современные методы селекции гороха (*Pisum sativum L.*) (обзор) 5
- Донцова А.А., Засыпкина И.М., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н.** Оценка продуктивности и основных хозяйственно-ценных признаков коллекционных образцов озимого ячменя в ФГБНУ «АНЦ «Донской» 12
- Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Долженко Д.О., Бишарев А.А., Калякулина И.А., Анисимкина Н.В.** Оценка качества зерна пленчатых и голозерных сортов ячменя для пригодности на крупяные цели 23
- Ахтямова А.А., Любимова А.В., Савельева Ю.В.** Фитотоксичная и биохимическая оценка овса посевного (*Avena sativa L.*) Тюменской селекции к действию ионов алюминия 30
- Соколенко Н.И., Галушко Н.А.** Сорта озимой пшеницы нового поколения селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» 36
- Лихачева Л.И., Москалев А.В., Лихачёва Н.В., Матолинец Н.Н.** Новый сорт гороха посевного Малахит 43
- Хомякова О.В., Акинина В.Н., Дьячук Т.И., Жилин С.В., Калашникова Э.В., Генералова О.А., Куликова В.П.** Влияние концентрации 2,4-Д на эффективность андрогенеза в культуре пыльников тритикале (*xTriticosecale Wittmack*) *in vitro* 50
- Ковтунова Н. А., Марченко Д.М., Иванисова А.С., Дубинина О.А.** Урожайность и содержание белка в зерне сортов озимой твердой пшеницы 56
- Тевфик А.Ш., Егорова Н.А.** Укоренение *in vitro* некоторых видов *Thymus L.* 63
- Бесалиев И.Н., Иванова Е.А., Панфилов А.Л.** Качество зерна сортов яровой твердой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья 72
- Иванисов М.М., Марченко Д.М., Рыбась И.А., Кирич А.В.** Взаимосвязь урожайности и элементов её структуры современных сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» 80
- Костылев П.И., Газе В.Л., Черпакова Е.Ю., Яновская Н.В., Аксенов А.В.** Влияние ширины флаговых листьев риса на элементы проводящей системы и количество колосков в метелках 88

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

- Шишова Е.А., Ковтунов В.В., Ковтунова Н. А., Романюкин А.Е., Кравченко Н.С.** Особенности накопления протеина в зеленой массе суданской травы 96
- Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Мустафин И.Г.** Влияние норм высева и способов посева на урожайность зерна и зеленой массы гороха в условиях Республики Башкортостан 102

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

- Теличко О.Н., Сырмолот О.В.** Влияние абиотических факторов среды на развитие и плодовитость *Habrobracon hebetor* 111

CONTENTS

BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

- Kovtunov V.V., Braginets S.V., Khabibullin K.N., Belanova O.A., Nikitenko M.V.** Main directions and modern methods of pea (*Pisum sativum* L.) breeding (review) 5
- Dontsova A.A., Zasyapkina I.M., Dontsov D.P., Doroshenko E.S., Bragin R.N.** Estimation of productivity and main economically valuable traits of collection winter barley samples at the FSBSI "ARC "Donskoy" 12
- Shabolkina E.N., Shevchenko S.N., Dolzhenko D.O., Bisharev A.A., Kalyakulina I.A., Anisimkina N.V.** Evaluation of grain quality of hulled and hullless barley varieties for use as groats 23
- Akhtyamova A.A., Lyubimova A.V., Savelieva Yu.V.** Phytotoxic and biochemical estimation of oats (*Avena sativa* L.) of Tyumen breeding to aluminum ions 30
- Sokolenko N.I., Galushko N.A.** Winter wheat varieties of new generation developed by the FSBSI "North Caucasus FARC" 36
- Likhacheva L.I., Moskalev A.V., Likhacheva N.V., Matolinets N.N.** New pea variety Malakhit 43
- Khomyakova O.V., Akinina V.N., Diyachuk T.I., Zhilin S.V., Kalashnikova E.V., Generalova O.A., Kulikova V.P.** The effect of 2,4-D concentration on the efficiency of androgenesis in in vitro triticales anther culture (*xTriticosecale* Wittmack) 50
- Kovtunova N.A., Marchenko D.M., Ivanisova A.S., Dubinina O.A.** Productivity and protein percentage in grain of winter durum wheat varieties 56
- Tevfik A.Sh., Egorova N.A.** *In vitro* rooting of some *Thymus* L. species 63
- Besaliev I.N., Ivanova E.A., Panfilov A.L.** Grain quality of spring durum wheat varieties in the Orenburg Cis-Urals 72
- Ivanisov M.M., Marchenko D.M., Rybas' I.A., Kirin A.V.** Correlation between productivity and yield structure elements in modern winter wheat varieties developed by the FSBSI "ARC "Donskoy" 80
- Kostylev P.I., Gaze V.L., Cherpakova E.Yu., Yanovskaya N.V., Aksenov A.V.** The effect of rice flag leaves' width on the elements of the conducting system and a number of spikelets in panicles 88

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT-BREEDING

- Shishova E.A., Kovtunov V.V., Kovtunova N.A., Romanyukin A.E., Kravchenko N.S.** Features of protein accumulation in green mass of Sudan grass 96
- Davletov F.A., Gainullina K. P., Mustafin I.G.** The effect of seeding rates and sowing methods on productivity of seeds and green mass of peas in the Republic of Bashkortostan 102

PLANT PROTECTION

- Telichko O.N., Syrmolot O.V.** The influence of abiotic environmental factors on the development and fertility of *Habrobracon hebetor* 111

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 635.656: 631.559

DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-5-11

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.) (ОБЗОР)

В.В. Ковтунов^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства гороха, доцент кафедры «Агрономия», kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

С.В. Брагинец^{1,2}, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса», sbraginet@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7137-5692;

К.Н. Хабибуллин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства гороха, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;

О.А. Беланова¹, аспирант, агроном лаборатории селекции и семеноводства гороха, olya8.belanova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5292-2224;

М.В. Никитенко¹, аспирант, агроном лаборатории селекции и семеноводства гороха, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703.

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3, e-mail: vniizk30@mail.ru;

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, 344003, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, зд. 1.

Горох занимает одно из ведущих мест среди зернобобовых культур в мире, объем его выращивания составляет около 12 млн. тонн. Посевные площади гороха посевного в Российской Федерации имеют устойчивую тенденцию роста. Дальнейшее увеличение урожайности и валовых сборов гороха невозможно без проведения своевременной сортоотмены и внедрения в производство новых сортов адаптивных к изменяющимся стресс-факторам. Целью данной работы является обобщение и анализ информации из научных статей, посвященных наиболее важным направлениям и современным методам селекции гороха. Подбор литературных источников осуществлялся в международных базах данных, а также на официальных платформах издательств. В качестве объектов анализа рассматривался широкий спектр публикаций, включая обзорные работы и оригинальные исследовательские статьи. Предпочтение отдавалось материалам с высоким индексом цитирования, за исключением научных статей, опубликованных в последние годы и не успевших его накопить. Для обеспечения полноты охвата данной темы дополнительно проведен анализ библиографических ссылок в отобранных работах, что позволило выявить и расширить значимые источники. Анализ литературных источников позволил установить, что основными признаками, по которым в настоящее время ведётся селекционная работа, направленная на создание новых сортов гороха, являются урожайность и качество зерна, архитектура растения, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, продолжительность вегетационного периода, повышение симбиотической фиксации азота. Современная селекционная работа по культуре гороха основана на таких методах селекции как внутривидовая гибридизация и отбор, мутагенез, ДНК-маркирование, а также использование ускоренной селекции. Проведённый анализ позволил сформировать комплексное представление о текущем состоянии изученной проблематики, выделить ключевые тренды и наметить перспективные направления для будущих исследований.

Ключевые слова: горох, урожайность, качество зерна, устойчивость, селекция, мутагенез, генотип, ген.

Для цитирования: Ковтунов В.В., Брагинец С.В., Хабибуллин К.Н., Беланова О.А., Никитенко М.В. Основные направления и современные методы селекции гороха (*Pisum sativum* L.) (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, №3. С. 5-11. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-5-11.



MAIN DIRECTIONS AND MODERN METHODS OF PEA (*PISUM SATIVUM* L.) BREEDING (REVIEW)

V.V. Kovtunov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for pea breeding and seed production, associate professor of the department "Agronomy", kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

S.V. Braginet^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, leading researcher of the department of plant products' processing, professor of the department "Technologies and processing equipment for plant products in AgroIndustrial Complex", sbraginet@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7137-5692;

K.N. Khabibullin¹, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for pea breeding and

seed production, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;

O.A. Belanova¹, a graduate student, agronomist of the laboratory for pea breeding and seed production, olya8.belanova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5292-2224;

M.V. Nikitenko¹, a graduate student, agronomist of the laboratory for pea breeding and seed production, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703.

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3;

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University",
344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1.

Peas are one of the leading legumes in the world, with production volumes reaching approximately 12 million tons. Pea acreage in the Russian Federation is steadily increasing. Further increases in pea yields and gross harvests are impossible without timely variety changing and the introduction of new varieties adaptable to changing stress factors. The purpose of the current work was to summarize and analyze information from scientific articles devoted to the most important areas and modern methods of pea breeding. Literary sources were selected from international databases and official publishing platforms. There has been analyzed a wide range of publications, including review papers and original research articles. Preference was given to materials with a high citation index, excluding research articles published in recent years that had not yet accumulated such an index. In order to ensure comprehensive consideration of this topic, there has been conducted an additional analysis of the bibliographic references in the selected works, which allowed identifying and expanding significant sources. An analysis of literary sources has revealed that the main characteristics currently being used in breeding work aimed at developing new pea varieties are seed productivity and quality, plant architecture, resistance to biotic and abiotic stress, length of a vegetation period, and increased symbiotic nitrogen fixation. Modern pea breeding is based on methods such as intraspecific hybridization and selection, mutagenesis, DNA-marking, and accelerated breeding. The current analysis has provided a comprehensive understanding of the present state of the issue, identified key trends, and outlined promising areas for future research.

Keywords: peas, productivity, seed quality, resistance, breeding, mutagenesis, genotype, gene.

Введение. Увеличение численности населения мира приведет к нехватке продовольствия, что поднимает вопрос о том, сможет ли современное сельское хозяйство удовлетворить потребности в продовольствии. Частичная замена животных белков растительными могла бы удовлетворить этот растущий спрос. Горох является легкодоступным источником белка, сложных углеводов, ряда витаминов и минералов. Содержание белка в семенах бобовых достигает 30%, что выше, чем у злаковых (около 13%), и близко по содержанию белка в мясе (18-25%). По сравнению со злаковыми культурами, бобовые отличаются высоким содержанием лизина, но характеризуются низким содержанием метионина и цистеина (Espósito et al., 2023). Помимо потребления человеком, горох используется в кормах для животных, в качестве зеленого удобрения, и в различных промышленных целях (Chen et al., 2024). Горох является третьей по распространенности бобовой культурой в мире, объем его выращивания составляет около 12 млн. тонн. Основными мировыми производителями являются Канада, за ней следуют Россия, Китай и Индия (Espósito et al., 2023). Посевные площади гороха посевного в Российской Федерации имеют устойчивую тенденцию роста. В последние годы экспорт гороха достигал почти половины валового сбора. Сельхозтоваропроизводители рассматривают данную культуру как один из лучших предшественников для озимой пшеницы (Гончаров и Коробова, 2022).

Целью данной работы является обобщение и анализ информации из научных статей, посвященных наиболее важным направлениям и современным методам селекции гороха.

Материалы и методы исследований.

Представленный обзор был подготовлен в соответствии со структурированной методологией, предполагавшей выполнение ряда взаимосвязанных этапов.

Изначально был проведен целенаправленный поиск и последующий отбор научных публикаций. Затем из отобранных источников были выделены актуальные для намеченной публикации данные, которые были систематизированы и обобщены.

Подбор литературных источников осуществлялся в международных базах данных, а также на официальных платформах издательств. В качестве объектов анализа рассматривался широкий спектр публикаций, включая обзорные работы и оригинальные исследовательские статьи.

Критериями для включения публикаций в обзор служили их релевантность заявленной проблематике и научная весомость. Предпочтение отдавалось материалам с высоким индексом цитирования, за исключением научных статей, опубликованных в последние годы и не успевших его накопить. Для обеспечения полноты охвата темы дополнительно проведен анализ библиографических ссылок в отобранных работах, что позволило выявить и расширить значимые источники.

Результаты и их обсуждение. Основными признаками, используемыми в качестве критериев для создания нового сорта, являются урожайность, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, продолжительность вегетационного периода, качество зерна.

Повышение урожайности предполагает повышение количества полноценных семян на растении. Были предприняты попытки увеличить количество цветков на узле вместо увеличения количества зерен в бобе. Не менее важной целью в селекционных программах является равномерность созревания бобов и семян. Другим значимым аспектом является снижение потерь при уборочных работах. Повышение устойчивости к полеганию растений за счёт уменьшения высоты растений, усиления прочности стебля, использование

безлисточковых генотипов способствует значительному снижению потерь при уборке урожая (Espósito et al., 2023).

Для повышение урожайности гороха одним из ключевых направлений в селекции является изменение архитектуры растения. Идеальный фенотип гороха должен иметь более низкую высоту, что повышает устойчивость к полеганию. Важнейшим агрономическим признаком является характер роста стебля гороха, тесно связанный с продолжительностью периода роста, урожайностью и высотой растения. В зависимости от того, когда заканчивается рост верхушки стебля, большинство сортов гороха делятся на два основных архитектурных типа стебля: детерминантный и индетерминантный. Локус *Determinate (det)* кодирует белок, который функционирует для сохранения меристемы соцветия у гороха. У его мутанта верхушечная меристема заменяется цветочной структурой, что приводит к переходу гороха от неограниченного роста к форме с ограниченным ростом. Таким образом, локус *det* определяет детерминантность роста стебля гороха. Недавно были предприняты попытки использовать двойные мутанты *det fa*, в результате чего появились растения с верхушечной кистью, часто несущей более десяти цветков на укороченных цветоножках. Учитывая сходство цветочного строения с люпинами, этот признак называется «люпиноидным» (Chen et al., 2024).

Одним из наиболее известных локусов, контролирующих архитектуру гороха, является локус *Le*, который определяет длину междоузлий. Он играет ключевую роль в достижении полукарликовости у гороха. Локус *Tl*, который контролирует развитие усиков гороха, сыграл важную роль в селекции листового гороха. Большое значение в селекции гороха играет локус *Afila (Af)*. Использование мутантов *af*, имеющих безлисточковый фенотип, позволяет снизить проблему полегания гороха и значительно повысить как урожайность, так и качество зерна. Учитывая уменьшенное количество сложных листьев у мутантов *af*, которое может повлиять на фотосинтетическую эффективность, исследователи объединили *af* с *uni*, разработав фенотип, названный «хамелеоном». По сравнению с мутантами *af*, у *af uni* несколько усиков заменены листьями (Chen et al., 2024).

Актуальной задачей селекции в настоящее время является создание технологичных сортов гороха характеризующиеся неосыпаемостью семян в полевых условиях. Неосыпаемость семян гороха обусловлена прочным срастанием семяножки с кожурой семени и находится под контролем гена *def (defeloment funiculus)*. Широкое использование в селекции этого гена позволяет снизить потери урожая семян на 0,3–1,8 тонны с гектара (Гудкова и Дружинина, 2011).

Снижение потерь зерна при уборке возможно достичь путём использования гена *Dpo*, который контролирует раскрытие бобов гороха. Аллель *Dpo* преимущественно встречается у диких сортов с раскрывающимися бобами, тогда как рецессивная аллель *dpo* в основном присутствует у современных сортов с нераскрывающимися бобами (Chen et al., 2024).

Как и многие другие культуры, горох сталкивается с рядом абиотических и биотических стрессов, которые могут оказывать негативное влияние на рост и развитие, а также снижать урожайность и качество зерна. Создание сортов, устойчивых как к биотическим,

так и к абиотическим стрессорам, является эффективной стратегией повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, включая горох (Chen et al., 2024).

Выделение зимостойких сортов и поиск генов, тесно связанных с зимостойкостью для селекции зимующего гороха также являются приоритетной задачей (Espósito et al., 2023). Зимующий горох обладает высоким потенциалом, но его выращивание ограничено возможной гибелью растений в зимнее время. В исследованиях Franguelli et al. (2024) отдельные генотипы продемонстрировали выживаемость в 50% при температурах от –11,6 до –14,5 °C, что превышает обычно сообщаемые допустимые диапазоны от –8 до –13 °C (Niels et al., 2025). Сохранение и расширение зимостойкости необходимы для обеспечения надежного формирования посевов и стабильности урожая в условиях низких температур. Существенное влияние на величину урожайности оказывают засуха и тепловой стресс во время прорастания, ранней вегетативной стадии (Devi et al., 2023) и цветения (Yang et al., 2022). Повышение устойчивости сортов гороха к данным стресс-факторам также относится к числу первоочередных задач.

Создание и внедрение в сельскохозяйственное производство устойчивых к болезням сортов является наиболее быстрым и дешевым способом борьбы с заболеваниями культурных растений. Из множества грибов, обнаруженных на горохе, значительный экономический ущерб современным сортам наносят лишь некоторые виды. Их вредоносность может меняться в зависимости от географической зоны возделывания культуры и погодных условий (Фадеева, 2007).

Наибольшую вредоносность посевам гороха наносят грибковые заболевания аскохитоз и мучнистая роса. Значительные успехи были достигнуты в повышении устойчивости гороха к мучнистой росе, которая основана на действии рецессивного гена *er-1* (Espósito et al., 2023). Было установлено, что аллель *er-1* обеспечивает устойчивость к мучнистой росе, препятствуя проникновению *Erysiphe pisi* (E. pisi) в эпидермальные клетки гороха. На сегодняшний день уже описаны три гена, обеспечивающие устойчивость к E. pisi: *er-1*, *er-2* и *Er-3* (Chen et al., 2024).

Существенное снижение урожайности зерна во влажных условиях в большинстве регионов мира, где выращивается горох вызывает аскохитоз. Селекция на устойчивость к данной болезни, также считается одним из наиболее эффективных методов борьбы. Однако, это длительный процесс из-за сложной природы устойчивости (Espósito et al., 2023). Устойчивостью к *Ascochyta* контролируется геном *Rap-2*. Широкое распространение имеет вирус мозаики гороха. Устойчивость гороха к данному вирусу, передающемуся через семена, определяется геном *Sbm1*. Этот аллель ингибирует экспрессию генома вируса, его размножение и межклеточное перемещение (Chen et al., 2024).

Значительный ущерб сортам гороха (*Pisum sativum* L.) наносит гороховая зерновка (*Bruchus pisorum* L.). Она снижает урожайность и качество посевного гороха, поедая большую часть запасных питательных веществ семени. Семена, заселённые гороховой зерновкой, имеют высокую вероятность осыпания во время уборки, а также ухудшается внешний вид зерна. Ограниченный успех агротехнических

методов борьбы, неэффективность биологического контроля и зависимость от дорогостоящих инсектицидов указывают на необходимость поиска альтернативных мер борьбы. Создание устойчивых к гороховой зерновке сортов является одним из наиболее перспективных вариантов снижения воздействия этого вредителя на производство гороха (Hardie et al., 1995). В исследованиях Hardie et al. (1995) 52 образца *P. sativum* и 18 образцов *P. fulvum* были классифицированы как потенциальные источники устойчивости к гороховой зерновке. Однако, дальнейшие полевые испытания не подтвердили абсолютной устойчивости к этому вредителю. Представленные в данной статье результаты указывают на то, что существуют возможные источники устойчивости к гороховой зерновке, присутствующие в некоторых образцах *Pisum*. Однако механизмы устойчивости и их наследование необходимо понять, прежде чем можно будет создать устойчивые сорта, и установить соответствующую стратегию селекции для повышения устойчивости к гороховой зерновке.

Важной задачей для селекционной работы является улучшение показателей качества. Понимание генетической изменчивости среди генотипов важно для отбора линий с хорошим питательным профилем. Общее содержание белка в семенах гороха ниже, чем в соевом шроте, и выше, чем в злаках (Ludvíková and Griga, 2022). В зависимости от сорта гороха показатели содержания белка варьируют от 11,4 до 32,6% (Espósito et al., 2023). Ludvíková and Griga (2022) отмечено, что тип семян (морщинистые или гладкие) влиял на биохимический состав гороха. Более высокое содержание белка наблюдалось в морщинистых семенах. Однако Jha et al., (2013) не наблюдали существенных различий между образцами с разной поверхностью семян. Основными запасными белками в семенах гороха являются глобулины, леугмин и вицилин. Биосинтез этих белков находится под контролем более сорока генов (Chen et al., 2024).

Большую долю семян гороха занимают углеводы, преимущественно хранящиеся в виде крахмала, который составляет приблизительно 45–50% от сухого веса. Следовательно, среди всех питательных компонентов гены, связанные с синтезом крахмала, являются наиболее многочисленными. Исторически наиболее известным геном, связанным с синтезом крахмала, является локус *Rugosus* (*R*) (Chen et al., 2024). Отмечается, что морщинистые семена характеризуются более низким содержанием крахмала, чем гладкие семена в зрелом состоянии, а горох с зелеными семядолями отличается меньшим содержанием крахмала, чем образцы с желтыми семядолями (Jha et al., 2013).

Содержание микроэлементов в зерне гороха изучено недостаточно. Cheng et al. (2015) оценили содержание минералов у 330 образцов коллекции гороха. Получены следующие средние значения, выраженные в мкг на 1 г: бор (B): 7,8; кальций (Ca): 802,1; медь (Cu): 4,4; железо (Fe): 50,4; магний (Mg): 1685,8; марганец (Mn): 16,0; молибден (Mo): 23,2; никель (Ni): 2,5; фосфор (P): 5047,5; калий (K): 12474,3 и цинк (Zn): 41,8.

Следует учитывать, что на показатели качества генотипа оказывают влияние условия выращивания, год и местоположение (Espósito et al., 2023). На содержание белка в семенах помимо влияния сорта,

могут существенно влиять почвенные и климатические условия, а также агротехнические мероприятия (Ludvíková and Griga, 2022). Условия окружающей среды оказывают значительное влияние на содержание крахмала, жира, Fe, K, Mg, Mn, P и Zn, аланина, глицина, изолейцина, лизина, треонина и активность ингибитора трипсина (Espósito et al., 2023). В исследованиях Amarakoon et al. (2012) сообщается, что концентрации Zn, Ca, P зависят от местоположения, генотипа, а также взаимодействия генотипа и окружающей среды (G x E). В тоже время, на содержание фитиновой кислоты G x E не оказывает значительного влияния. Liu et al. (2015) показали, что сорт, окружающая среда и их взаимодействие влияли на концентрацию P и фитиновой кислоты, а на содержание Fe взаимодействие генотип среда не оказало значительного влияния. Такие соединения как каротиноиды и полифенолы были достаточно стабильны в различных условиях, что позволяет предположить возможность селекции для повышения их содержания (Espósito et al., 2023).

На отечественном рынке важным показателем является возможность использования товарного зерна на продовольственные цели. Поэтому требуемым показателем стал желтый цвет зерна и, соответственно, отнесение к категории ценного сорта (Гончаров и Коробова, 2022).

По мнению Шелепина Н.В. (2018) улучшению конкурентоспособности гороха может способствовать развитие глубокой переработки зерна. В тоже время, в работе Гончарова С.В. и Коробовой Н.А. (2022) отмечается, что вкус, питательная ценность, пригодность для глубокой переработки не рассматривались ранее в качестве целевых признаков селекционных программ.

Подобно другим бобовым растениям, горох обладает способностью к симбиотической фиксации азота. Хотя горох способен фиксировать азот до 165 кг/га, типичный диапазон фиксации в полевых условиях составляет от 40 до 60 кг/га. С одной стороны, это поддерживает рост гороха, с другой – обогащает почву (Chen et al., 2024). Способность гороха фиксировать атмосферный азот в симбиозе с ризобиями имеет важное значение для повышения продуктивности севооборотов в целом. Кроме того, горох имеет большую пищевую и экспортную ценность. Улучшение фиксации азота в горохе также принесет пользу быстрорастущему рынку растительных белков. В некоторых исследованиях выявлено сильное влияние сорта на симбиотическую способность растений (Espósito et al., 2023). Была обнаружена генетическая изменчивость количества и веса клубеньков у гороха, демонстрирующая положительную корреляцию со способностью к фиксации азота (Chen et al., 2024). Мутации у гороха, связанные с корневыми клубеньками, предоставляют возможность создать сорта гороха с большим потенциалом фиксации азота (Espósito et al., 2023). За последние два десятилетия, с момента первого упоминания гена *NIN*, связанного с азотфиксацией, исследователи выявили несколько ключевых генов, сопряженных с фиксацией азота в горохе. Эти открытия сыграли решающую роль в создании новых сортов гороха с улучшенными свойствами фиксации азота. Предполагается, что за счет повышения способности гороха к фиксации азота, произойдет увеличение, как урожайности, так и содержания белка в культуре. Кроме того, ожидается, что это улучшение будет

способствовать повышению плодородия почвы и снижению необходимости внесения азотных удобрений в севообороте с горохом (Chen et al., 2024).

На первых этапах научной селекции одним из основных способов создания сортов гороха был отбор из местных сортов-популяций. В настоящее время наиболее распространенным и эффективным методом селекции гороха является внутривидовая гибридизация (Кондыков, 2012).

Традиционными методами селекции были достигнуты значительные достижения. Дикie виды и формы гороха представляют собой ценные источники устойчивости к биотическим и абиотическим факторам. С их использованием созданы сорта, устойчивые к таким заболеваниям как ложная мучнистая роса, фузариоз и ржавчина, а также сокращён вегетационный период, повышена урожайность и качество семян (Espósito et al., 2023). Устойчивость к полеганию была улучшена за счет внедрения гена *afla* и за счет отбора на повышенную прочность стебля. Частичная устойчивость к аскохитозу была достигнута путем пирамидирования генов. Устойчивость к гороховой зерновке (*Bruchus pisorum* L.), выявленная в генофонде *P. fulvum*, была перенесена в культивируемый горох путем возвратных скрещиваний (Tayeh et al., 2015). Для гороха, где изменчивость генофонда низка из-за его автогамной природы, использование индуцированного мутагенеза в селекции имеет большие перспективы (Espósito et al., 2023). Подобного мнения придерживаются Chen et al. (2024), которые считают, что поскольку горох трудно генетически трансформировать, необходимо использовать мутантные популяции для облегчения клонирования генов, функционального анализа и мутационной селекции. Исследователи провели всестороннее изучение различных признаков гороха, используя мутанты, полученные в различных мутагенных условиях. Примерами являются клонирование локуса *Tendrill-less (TI)* из мутантов, полученных с помощью быстрых нейтронов, клонирование локуса *Elephant-ear-like leaf1 (ELE1)* из мутантов, полученных с помощью этилметансульфоната, и клонирование локуса *Keeled Wings (K)* из рентгеновского мутагенеза. Более того, мутационная селекция гороха, начатая в начале 1940-х годов, оказалась весьма успешной. Ярким примером этого является разработка безлисточкового сорта гороха, названного «Васата» Польшей в 1979 году, с использованием гамма-лучевого мутагенеза. Это достижение значительно повысило устойчивость гороха к полеганию без ущерба для его урожайности (Chen et al., 2024). Отмечается о создании порядка тридцати мутантных сортов *Pisum sativum* L.. Некоторые из них были выведены путем гибридизации с мутантным сортом, другие — с помощью методов прямой индуцированной мутации. Среди улучшенных характеристик отмечены: устойчивость к полеганию, раннее созревание и высокая урожайность семян (Espósito et al., 2023).

Для создания новых сортов гороха с использованием традиционных методов селекции требует десять или более лет. Использование ДНК-маркеров наряду с традиционной селекцией может ускорить и повысить эффективность отбора при создании сортов (Espósito et al., 2023). С момента первой генетической карты, опубликованной еще в 1948 году, знания о геноме гороха расширились вместе с развитием молекулярных

маркеров (Pandey et al., 2021). В общей сложности было построено не менее 52 генетических карт для различных популяций F2 или рекомбинантных инбредных линий, содержащих до 8503 маркеров (Tayeh et al., 2015). В тоже время, отмечается, что с наступлением эры геномики в науке о растениях горох, обладающий внушительным геномом в 4,45 Гб, значительно отстал в геномных исследованиях по сравнению с другими бобовыми растениями (Chen et al., 2024). В настоящее время, генотипирование методом секвенирования используется в различных исследованиях гороха, таких как характеристика зародышевой плазмы, геномная селекция, изучение продолжительности вегетационного периода, высоты растения, урожайности семян и массы семян. Проводятся важные исследования по QTL качества семян гороха. Помимо основных минералов, таких как Ca, Fe, K, Mg, Mn, Mo и P, были определены QTL содержания крахмала, клетчатки и фитатов в горохе (Espósito et al., 2023). Выявлены маркеры, связанные с урожайностью, архитектурой надземной части и корней, устойчивостью к абиотическим стрессам и полеганию, содержанием ингибитора трипсина, устойчивостью к таким заболеваниям, как мучнистая роса, вирусу мозаики, фузариозное увядание, аскохитоз и ржавчина (Tayeh et al., 2015). По мнению Chen et al. (2024), увеличение информации о генах, связанных с устойчивостью гороха к стрессам, и идентификация ключевых локусов устойчивости имеет решающее значение.

Для ускорения селекции по многим сельскохозяйственным культурам разработаны приёмы получения нескольких поколений в год за счёт выращивания растений в регулируемых условиях с использованием искусственного освещения, контроля температуры и влажности (Espósito et al., 2023). На горохе Cazzola et al. (2020) используя гидропонную систему с 22-часовым фотопериодом и регуляторов роста получил до пяти поколений в год. Использование ускоренной селекции потенциально может сократить время, необходимое для создания новых сортов, и повысить эффективность селекционных программ по сравнению с традиционными методами селекции (Espósito et al., 2023).

Выводы. На основе проведенного обзора научной литературы выделены основные направления и методы селекции гороха. Анализ литературных источников позволил установить, что основными признаками, по которым в настоящее время ведётся селекционная работа, направленная на создание новых сортов гороха, являются урожайность и качество зерна, архитектура растения, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, продолжительность вегетационного периода, повышение симбиотической фиксации азота. Современная селекционная работа по культуре гороха основана на таких методах селекции как внутривидовая гибридизация и отбор, мутагенез, ДНК-маркирование, а также использование ускоренной селекции. Проведённый анализ позволил сформировать комплексное представление о текущем состоянии изученной проблематики, выделить ключевые тренды и наметить перспективные направления для будущих исследований.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № FNFN-2025-0010).

Библиографический список

1. Гончаров С.В., Коробова Н.А. Перспективные направления селекции гороха // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 13–17.
2. Гудкова Г.Н., Дружинина В.С. Морфолого-анатомическое строение семяножки осыпавшихся и неосыпавшихся сортов гороха // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2011. Выпуск 2. С. 35–39.
3. Кондыков И.В. Основные достижения и приоритеты в селекции гороха // Зернобобовые и крупяные культуры». 2012. № 1. С. 37–46.
4. Фадеева А.Н. Селекция гороха на устойчивость к болезням // Достижения науки и техники АПК. 2007. №3. С. 11–13.
5. Шелепина Н.В. Состояние и перспективы комплексной промышленной переработки зерна гороха // Вестник ОрелГИЭТ. 2018. № 2 (44). С. 16–20.
6. Amarakoon D., Mcphee K., Thavarajah P. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition // Journal of Food Composition and Analysis. 2012. Vol. 27(1), P. 8–13.
7. Cazzola F., Bermejo C.J., Guindon M.F., Cointy E. Speed breeding in pea (*Pisum sativum* L.), an efficient and simple system to accelerate breeding programs // Euphytica. 2020. Vol. 216, P. 178. DOI: 10.1007/s10681-020-02715
8. Chen B., Shi Y., Sun Y., Lu L., Wang L., Liu Z., Cheng S. Innovations in functional genomics and molecular breeding of pea: exploring advances and opportunities // aBIOTECH. 2024. Vol. 5, P. 71–93. DOI: 10.1007/s42994-023-00129-1
9. Cheng P., Holdsworth W., Ma Y., Coyne C., Mazourek M., Grusak M., Fuchs S., Mcgee R. Association Mapping of Agronomic and Quality Traits in USDA Pea Single-Plant Collection. Molecular Breeding. 2015. Vol. 35(2), P. 75.
10. Devi J., Sagar V., Mishra G.P., Jha P.K., Gupta N., Dubey R.K., Singh P.M., Behera T.K., Prasad P.V.V. Heat stress tolerance in peas (*Pisum sativum* L.): Current status and way forward // Frontier in Plant Science. 2023. Vol. 13: 1108276. DOI: 10.3389/fpls.2022.1108276
11. Espósito M.A., García A.N., Guindón F., Cazzola F., Bermejo C., Gatti I. Objectives and modern techniques in pea (*Pisum sativum* L.) breeding in Argentina: A review // Revista de Investigaciones Agropecuarias. 2023. Vol. 49, No. 3. P. 119-127. DOI: 10.58149/3d1f-3n65
12. Franguelli N., Cavalli D., Notario T., Pecetti L., Annicchiarico P. Frost tolerance improvement in pea and white lupin by a highthroughput phenotyping platform // Front Plant Sci. 2024. Vol. 15: 1490577. DOI: 10.3389/fpls.2024.1490577
13. Hardie D.C., Baker G.J., Marshall D.R. Field screening of *Pisum* accessions to evaluate their susceptibility to the pea weevil (Coleoptera: Bruchidae). Euphytica. 1995. Vol. 84, P.155–161.
14. Jha A.B., Arganosa G., Tar'an B., Diederichsen A., Warkentin T.D. Characterization of 169 diverse pea germplasm accessions for agronomic performance, mycosphaerella blight resistance and nutritional profile // Genetic Resources and Crop Evolution. 2013. Vol. 60, P. 747–761. DOI: 10.1007/s10722-012-9871-1
15. Liu X., Glahn R., Arganosa G., Warkentin T.D. Iron Bioavailability in Low Phytate Pea. Crop Science. 2015. Vol. 55(1). P. 320–330.
16. Ludvíková M., Griga M. Pea transformation: History, current status and challenges // CAAS Agricultural Journals. 2022. Vol. 58(3). P. 127-161. DOI: 10.17221/24/2022-CJGPB
17. Niels L., Reif J.C., Otto L., Mirdita V., Oppermann M., Lohwasser U., Kotter M., Weise S., El Hanafi S. Harnessing historical genebank data to accelerate pea breeding // Theoretical and Applied Genetics. 2025. Vol. 138, P. 243. DOI: 10.1007/s00122-025-05032-5
18. Pandey A.K., Rubiales D., Wang Y., Fang P., Sun T., Liu N., Xu P. Omics resources and omics-enabled approaches for achieving high productivity and improved quality in pea (*Pisum sativum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134, P. 755-776. DOI: 10.1007/s00122-020-03751-5
19. Tayeh N., Aubert G., Pilet-Nayel M.L., Lejeune-Hénaut I., Warkentin T.D., Burstin J. Genomic Tools in Pea Breeding Programs: Status and Perspectives. Front. Plant Sci. 2015. Vol. 6:1037. DOI: 10.3389/fpls.2015.01037
20. Yang X., Gou Z., Zhu Z. et al. Breeding and evaluation of a new-bred semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) cultivar Longwan No. 6 // Agronomy. 2022. Vol. 12:850. DOI: 10.3390/agronomy12040850

References

1. Goncharov S.V., Korobova N.A. Perspektivnye napravleniya seleksii gorokha [Promising directions in pea breeding] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2022. № 9. С. 13–17.
2. Gudkova G.N., Druzhinina V.S. Morfologo-anatomicheskoe stroenie semyanozhki osypayushchikhsya i neosypayushchikhsya sortov gorokha [Morphological and anatomical structure of the seed stalk of shattering and non-shattering pea varieties] // Vestnik Adygeiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki. 2011. Vypusk 2. S. 35–39.
3. Kondykov I.V. Osnovnye dostizheniya i priority v seleksii gorokha [Major achievements and priorities in pea breeding] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury». 2012. № 1. С. 37–46.
4. Fadeeva A.N. Seleksiya gorokha na ustoichivost' k boleznyam [Pea breeding for disease resistance]// Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2007. №3. С. 11–13.
5. Shelepina N.V. Sostoyanie i perspektivy kompleksnoi promyshlennoi pererabotki zerna gorokha [State and prospects of integrated industrial processing of pea seeds] // Vestnik OrelGIET. 2018. № 2 (44). С. 16–20.

6. Amarakoon D., Mcphee K., Thavarajah P. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition // Journal of Food Composition and Analysis. 2012. Vol. 27(1), P. 8–13.
7. Cazzola F., Bermejo C.J., Guindon M.F., Cointy E. Speed breeding in pea (*Pisum sativum* L.), an efficient and simple system to accelerate breeding programs // Euphytica. 2020. Vol. 216, P. 178. DOI: 10.1007/s10681-020-02715
8. Chen B., Shi Y., Sun Y., Lu L., Wang L., Liu Z., Cheng S. Innovations in functional genomics and molecular breeding of pea: exploring advances and opportunities // aBIOTECH. 2024. Vol. 5, P. 71–93. DOI: 10.1007/s42994-023-00129-1
9. Cheng P., Holdsworth W., Ma Y., Coyne C., Mazourek M., Grusak M., Fuchs S., McGee R. Association Mapping of Agronomic and Quality Traits in USDA Pea Single-Plant Collection. Molecular Breeding. 2015. Vol. 35(2), P. 75.
10. Devi J., Sagar V., Mishra G.P., Jha P.K., Gupta N., Dubey R.K., Singh P.M., Behera T.K., Prasad P.V.V. Heat stress tolerance in peas (*Pisum sativum* L.): Current status and way forward // Frontier in Plant Science. 2023. Vol. 13: 1108276. DOI: 10.3389/fpls.2022.1108276
11. Espósito M.A., García A.N., Guindón F., Cazzola F., Bermejo C., Gatti I. Objectives and modern techniques in pea (*Pisum sativum* L.) breeding in Argentina: A review // Revista de Investigaciones Agropecuarias. 2023. Vol. 49, No. 3. P. 119-127. DOI: 10.58149/3d1f-3n65
12. Franguelli N., Cavalli D., Notario T., Pecetti L., Annicchiarico P. Frost tolerance improvement in pea and white lupin by a highthroughput phenotyping platform // Front Plant Sci. 2024. Vol. 15: 1490577. DOI: 10.3389/fpls.2024.1490577
13. Hardie D.C., Baker G.J., Marshall D.R. Field screening of *Pisum* accessions to evaluate their susceptibility to the pea weevil (Coleoptera: Bruchidae). Euphytica. 1995. Vol. 84, P.155–161.
14. Jha A.B., Arganosa G., Tar'an B., Diederichsen A., Warkentin T.D. Characterization of 169 diverse pea germplasm accessions for agronomic performance, mycosphaerella blight resistance and nutritional profile // Genetic Resources and Crop Evolution. 2013. Vol. 60, P. 747–761. DOI: 10.1007/s10722-012-9871-1
15. Liu X., Glahn R., Arganosa G., Warkentin T.D. Iron Bioavailability in Low Phytate Pea. Crop Science. 2015. Vol. 55(1). P. 320–330.
16. Ludvíková M., Griga M. Pea transformation: History, current status and challenges // CAAS Agricultural Journals. 2022. Vol. 58(3). P. 127-161. DOI: 10.17221/24/2022-CJGPB
17. Niels L., Reif J.C., Otto L., Mirdita V., Oppermann M., Lohwasser U., Kotter M., Weise S., El Hanafi S. Harnessing historical genebank data to accelerate pea breeding // Theoretical and Applied Genetics. 2025. Vol. 138, P. 243. DOI: 10.1007/s00122-025-05032-5
18. Pandey A.K., Rubiales D., Wang Y., Fang P., Sun T., Liu N., Xu P. Omics resources and omics-enabled approaches for achieving high productivity and improved quality in pea (*Pisum sativum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134, P. 755-776. DOI: 10.1007/s00122-020-03751-5
19. Tayeh N., Aubert G., Pilet-Nayel M.L., Lejeune-Hénaut I., Warkentin T.D., Burstin J. Genomic Tools in Pea Breeding Programs: Status and Perspectives. Front. Plant Sci. 2015. Vol. 6:1037. DOI: 10.3389/fpls.2015.01037
20. Yang X., Gou Z., Zhu Z. et al. Breeding and evaluation of a new-bred semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) cultivar Longwan No. 6 // Agronomy. 2022. Vol. 12:850. DOI: 10.3390/agronomy12040850

Поступила: 13.04.26; доработана после рецензирования: 15.05.26; принята к публикации: 20.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Ковтунов В.В. – постановка цели, концептуализация исследования, подготовка рукописи; Брагинец С.В. – концептуализация исследования, анализ литературных источников; Хабибуллин К.Н. – подготовка рукописи; Беланова О.А. – поиск литературных источников в базах данных; Никитенко М.В. – поиск литературных источников в базах данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ И ОСНОВНЫХ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ В ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

А.А. Донцова^{1, 2}, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, доцент кафедры «Агрономия», doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

И.М. Засыпкина¹, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, irinka_kolosok92@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1281-5317;

Д.П. Донцов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, dontsov1324@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

Э.С. Дорошенко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doroshenko.eduard.91@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0787-9754;

Р.Н. Брагин¹, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, braginroman40@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4617-751X.

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1; e-mail: reception@dstu.edu.ru

Настоящая публикация содержит данные о результатах анализа образцов озимого ячменя из коллекционного питомника. Исследование ставило своей целью всестороннюю оценку сортов озимого ячменя различного эколого-географического происхождения для выделения источников наиболее перспективных хозяйственно-биологических признаков, которые могут быть эффективно применены в селекционных программах на повышение продуктивности. Исследования проводились в 2023-2025 гг. в отделе селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ АНЦ «Донской». Цель исследований – провести сравнительную оценку продуктивности сортов озимого ячменя различного эколого-географического происхождения для выделения источников хозяйственно-ценных признаков, перспективных для практической селекции озимого ячменя в условиях Южного федерального округа. Для подробного изучения было взято 30 сортов различного эколого-географического происхождения (РФ, Украина, Беларусь, Чехия, Болгария, Швейцария, Франция, Германия, США, Югославия, Англия, Нидерланды). В результате проведенных исследований выделены источники скороспелости (Маруся, Фокс 1, Восход (РФ), Фермер (Украина), Густ (Беларусь), Индиана (Болгария), Тату (Швейцария), KWS-Meridian (Германия), Cello, Ramunkey (США), Novosadski 331, Novosadski 329 (Югославия)), источники крупнозерности (Премьер (РФ), Парадиз, Индиана (Болгария), Vanessa (Франция), KWS-Meridian, Cornelia (Германия)), источники озерненности колоса (Маруся, Виват (РФ), Azurel (Франция), Novosadski 331 (Югославия), Vectra (Нидерланды)), которые в дальнейшем будут использованы в селекционных программах. Также был проведен анализ изучаемых сортов согласно селекционным индексам, позволяющий полнее раскрывать свойства изучаемых генотипов. Результаты проведенных исследований показали, что наибольшее преимущество имеют сорта – Премьер, Фокс 1, Маруся (РФ), Густ (Беларусь), Парадиз, Индиана (Болгария), Vanessa (Франция), KWS-Meridian (Германия), Cello (США), Novosadski 329 (Югославия), Karisma (Англия), выделившиеся по сумме рангов. По совокупности хозяйственно-ценных признаков выделены сорта – Маруся, Виват (РФ), Парадиз, Индиана (Болгария), KWS-Meridian (Германия), Cello (США), Novosadski 329, Novosadski 331 (Югославия).

Ключевые слова: исходный материал, озимый ячмень, адаптивность, сорт, образец, коллекция, селекция, урожайность.

Для цитирования: Донцова А.А., Засыпкина И.М., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н. Оценка продуктивности и основных хозяйственно-ценных признаков коллекционных образцов озимого ячменя в ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18., № 3. С.12-22. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-12-22.



ESTIMATION OF PRODUCTIVITY AND MAIN ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF COLLECTION WINTER BARLEY SAMPLES AT THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

A.A. Dontsova^{1, 2}, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, associate professor at the department “Agronomy”, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

I.M. Zasyapkina¹, junior researcher of the department of barley breeding and seed production, irinka_kolosok92@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1281-5317;

D.P. Dontsov¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding

and seed production, dontsov1324@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

E.S. Doroshenko¹, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the department of barley breeding and seed production, doroshenko.eduard.91@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-0787-9754;

R.N. Bragin¹, junior researcher of the department of barley breeding and seed production, braginroman40@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4617-751X.

¹FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy",

347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;

²FSBEI HE "Don State Technical University",

344003, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 11; e-mail: reception@dstu.edu.ru

The current paper has presented the results of an analysis of winter barley samples from a collection nursery. The study was aimed to comprehensively evaluate winter barley varieties of various ecological and geographical origins to identify the sources of the most promising agronomic and biological traits that could be effectively applied in breeding programs to improve productivity. The study was conducted in the department of barley breeding and seed production of the FSBSI "ARC "Donskoy" from 2023 to 2025. The purpose of the study was to conduct a comparative estimation of productivity of winter barley varieties of different ecological and geographical origins in order to identify sources of economically valuable traits that are promising for practical winter barley breeding in the Southern Federal District. For a detailed study there have been taken 30 varieties of different ecological and geographical origins such as Russia, Ukraine, Belarus, Czech Republic, Bulgaria, Switzerland, France, Germany, USA, Yugoslavia, England, Netherlands. As a result there have been identified the sources of early maturity such as Marusya, Fox 1, Voskhod (RF), Fermer (Ukraine), Gust (Belarus), Indiana (Bulgaria), Tatu (Switzerland), KWS-Meridian (Germany), Cello, Pamunkey (USA), Novosadski 331, Novosadski 329 (Yugoslavia)); the sources of large grain size such as Premier (RF), Paradise, Indiana (Bulgaria), Vanessa (France), KWS-Meridian, Cornelia (Germany)); the sources of grain number per ear such as Marusya, Vivat (RF), Azurel (France), Novosadski 331 (Yugoslavia), Vectra (Netherlands)), which will be further used in breeding programs. There have been also analyzed the studied varieties according to the selection indices, allowing revealing properties of the studied genotypes more completely. The study results have shown that due to the sum of ranks the greatest advantages have such varieties as Premier, Fox 1, Marusya (RF), Gust (Belarus), Paradise, Indiana (Bulgaria), Vanessa (France), KWS-Meridian (Germany), Cello (USA), Novosadski 329 (Yugoslavia), Karisma (England). According to the combination of economically valuable traits, there have been identified such varieties as Marusya, Vivat (RF), Paradise, Indiana (Bulgaria), KWS-Meridian (Germany), Cello (USA), Novosadski 329, Novosadski 331 (Yugoslavia).

Keywords: initial material, winter barley, adaptability, variety, sample, collection, breeding, productivity.

Введение. Ячмень является одной из основных сельскохозяйственных культур среди злаков, занимая значимое место в мировом земледелии как одна из ключевых зерновых культур. Его значимость обусловлена, прежде всего, широким спектром его практического применения (Хлыстунов, 2025). Ячмень занял прочные позиции среди зерновых колосовых благодаря своей высокой адаптивности и относительно короткому вегетационному периоду. Эти характеристики позволяют ему успешно культивироваться в широком спектре почвенно-климатических зон, охватывая практически всю территорию Российской Федерации (Гудзенко, 2019).

Современная сельскохозяйственная селекция сталкивается с новыми вызовами, что приводит к переориентации приоритетов. Селекционеры теперь сосредоточены на разработке сортов, которые демонстрируют устойчивость к колебаниям климата, разнообразию почв и вариативности агротехнических подходов (Сафонова, 2022; Сухарев, 2024). Глобальное потепление, проявляющееся в устойчивом росте температур, актуализирует необходимость изучения и отбора сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к климатическим стрессам, так как помимо традиционных показателей урожайности и качества, ключевым становится способность новых сортов к адаптации в условиях меняющейся среды (Kiryuk, 2020; Талышкина, 2025). Для создания конкурентоспособных сортов необходимо располагать генетически разнообразным и комплексно изученным исходным материалом. Для успешного повышения урожайности,

качества зерна и его устойчивости к стрессам, важен правильный выбор родительских пар при скрещивании (Сафонова, 2019; Горянин, 2020). Постоянный поиск и изучение новых образцов из коллекций ВИР и других научных учреждений необходимы для получения сортов с оптимальным сочетанием желаемых признаков (Зайцева, 2023).

Успешное выведение новых сортов растений требует наличия и активного применения широкого спектра генетически разнообразного исходного материала. Критерии выбора исходного материала существенно влияют на формирование как положительных, так и отрицательных признаков новых сортов (Eroshenko, 2021). В связи с этим селекционный процесс должен включать не только передовые отечественные сорта, но и сорта из других регионов, обладающие высоким генетическим потенциалом (Филиппов, 2022).

Цель исследований: провести сравнительную оценку продуктивности сортов озимого ячменя различного эколого-географического происхождения для выделения источников хозяйственно-ценных признаков, перспективных для практической селекции озимого ячменя в условиях Южного федерального округа.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на опытном поле ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2023–2025 годах.

В качестве экспериментального материала из коллекционного питомника использовали 30 сортов озимого ячменя различного эколого-географического

происхождения. Стандартный сорт – Тимофей. Учетная площадь делянки – 5 м². Норма высева – 500 всхожих зерен на 1 м², посев без повторений. Предшественник – горох.

За период исследований у изучаемых образцов отмечались основные фенологические фазы развития растений. На закрепленных площадках осуществлялся анализ элементов структуры урожая. Изучение сортов озимого ячменя по морфологическим и хозяйственным признакам проведено согласно Методическим указаниям по изучению мировой коллекции ячменя и овса (2012).

Математическую обработку результатов исследований и расчёт коэффициента вариации (V) проводили по методике полевого опыта Б. А. Доспехова (2014). Для оценки достоверности различий между образцами использовали утроенную ошибку средней (3Sx), при анализе корреляционных связей – вероятность погрешности (p) при 5% уровне значимости с использованием программы Statistica 6.0. Оценку экологической пластичности и стабильности проводили по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в редакции В. А. Зыкина (2005). Взяты для изучения селекционные

индексы, которые наиболее часто используются в практике селекционного процесса большинства сельскохозяйственных культур, заимствованы из литературных источников (Базюк, 2024):

1. Мексиканский индекс (Мх) – отношение массы зерна с колоса к высоте растений.
2. Финско-скандинавский индекс (FSj) – отношение количества зерен в колосе к высоте растений.
3. Индекс перспективности (J.P.) – отношение массы 1000 зерен к длине соломины.
4. Индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j).

2022–2023 сельскохозяйственный год характеризовался обилием осадков, всего за год выпало 549 мм осадков или 102,2% от среднемноголетней (537,2 мм), в весенний период осадки составили 240 мм, что составило 183,2% по сравнению со среднемноголетними данными (133,2 мм) (рисунок 2). Условия осени можно отметить, как достаточно благоприятные для посева. Осадки – на уровне среднемноголетних данных, температурный режим в осенние месяцы был повышенным, в сумме 34,8 °C (среднемноголетняя температура – 29,0°C) (рис. 1).

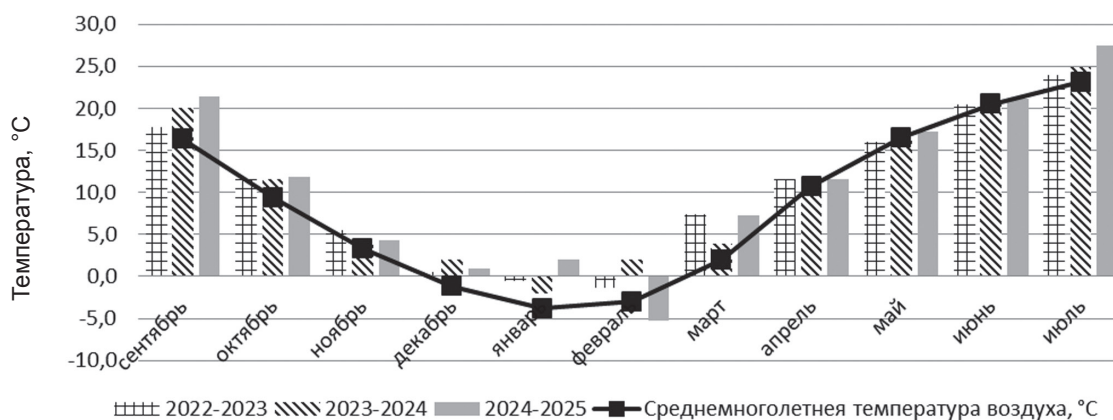


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха в 2023–2025 с.-х. гг.

Fig. 1. Average daily air temperature in 2023–2025

Зимой выпало 125,0 мм осадков (85,8% к среднемноголетним) в виде дождя и снега, температурный режим в сумме составил -1,5°C (среднемноголетняя температура – -8,0°C). Весна 2023 года характеризовалась повышенным температурным режимом (+6,2°C к среднемноголетней). Апрель и

май характеризовались обилием осадков (+45,3 мм и +64,7 мм к среднемноголетней, соответственно), что привело к полеганию посевов, распространению листовых болезней и к получению более низкой урожайности (рис. 2).

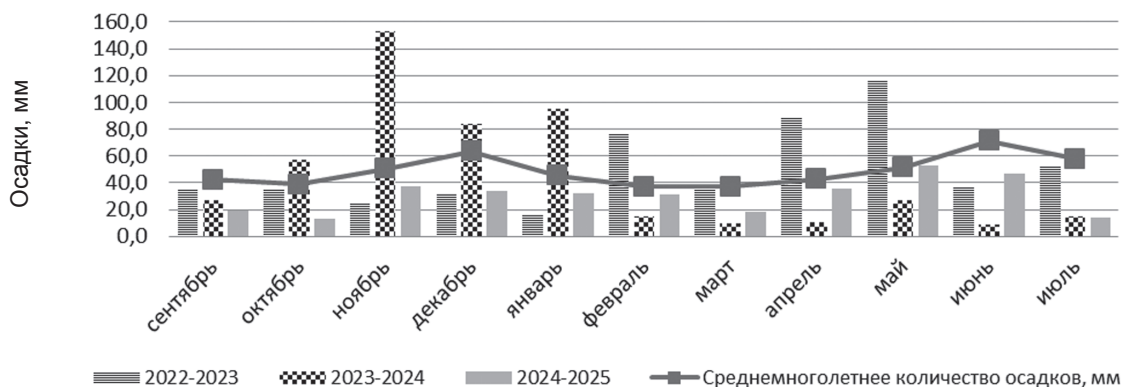


Рис. 2. Среднемесячное количество осадков в 2023–2025 с.-х. гг.

Fig. 2. Average monthly precipitation in 2023–2025

В 2023–2024 сельскохозяйственном году наблюдалось обилие осадков в осенне-зимний период по сравнению со среднемноголетними данными и критически низкое их значение в весенне-летний период. Всего за сельскохозяйственный год выпало 503 мм осадков или 93,6% от среднемноголетней (537,2 мм), в том числе осенью и зимой – 431 мм (156,2 %), весной – 48 мм (36,6 %), летом (июнь, июль) – 24 мм (18,6 %). Обилие осадков и повышенный температурный режим в осенние и зимние месяцы (+9,4°C к среднемноголетним данным) позволило растениям уйти на перезимовку в оптимальной фазе развития. Зимой выпало 194,0 мм осадков (133,1% к среднемноголетним) в виде дождя и снега, так же обеспечив посевы снежным покровом. Весна 2024 года характеризовалась повышенным температурным режимом в марте (+3,9°C к среднемноголетним данным), что в целом сформировало благоприятные условия для роста и развития озимого ячменя и позволило сформировать урожайность выше в сравнении с предыдущим годом (рис. 1, 2).

В 2024–2025 сельскохозяйственном году отмечено низкое количество осадков, всего выпало 394,0 мм осадков или 73,4% от среднемноголетней (537,2 мм), в том числе осенью – 69,0 мм (52,5 %), зимой – 97,0 мм (66,6 %), весной – 107,0 мм (81,7 %), летом (июнь, июль) – 121,0 мм (93,8 %). Условия осени можно отметить, как неблагоприятные для посева озимого ячменя, особенно по непаровым предшественникам. В сентябре выпало 19,0 мм осадков, что с низким количеством осадков в октябре и ноябре (13,0 мм и 37,0 мм, соответственно)

являлось недостаточным для полноценного развития. В связи с острой засухой осенью всходы были получены через 65-68 дней. Зимой выпало 97,0 мм осадков (66,6% к среднемноголетним) в виде дождя и снега. Повышенный температурный режим (+5,7°C к среднемноголетним) способствовал благоприятной перезимовке растений. Весна характеризовалась более высокими температурами в марте (+7,2°C) и засушливостью 18 мм (48%) (рис. 1, 2). В 2025 году была получена низкая урожайность в связи с низким количеством осадков в зимний период и острой засухой в весенне-летний период. В Ростовской области был объявлен режим ЧС.

Результаты и их обсуждение. Для получения стабильных и высоких урожаев важное значение имеют сорта, которые наиболее адаптированы по продолжительности вегетационного периода к условиям возделывания. Продолжительность вегетационного периода в значительной мере зависит от генетической природы сорта и климатических условий в период вегетации. В 2023 и 2025 гг. колошение сортов озимого ячменя началось с 6 мая и продлилось до 21 мая, тогда как в 2024 г. отмечено ультрааннее колошение, в связи с ранним началом возобновления весенней вегетации, сорта ячменя начали выколашиваться с 24 апреля и до 5 мая. Продолжительность периода вегетации «всходы-колошение» в среднем за годы изучения составил 192 дня. В таблице 1 представлены сорта с периодом вегетации короче, чем у стандарта, что весьма актуально в последние годы.

Таблица 1. Источники скороспелости озимого ячменя (2023–2025 гг.)
Table 1. Sources of winter barley early maturity (2023–2025)

№ п/п	Название сорта	Страна происхождения	Период вегетации «всходы - колошение», дни							
			2023	± к St	2024	± к St	2025	± к St	Среднее	± к St
1	Тимофей, st	РФ	220	-	206	-	164	-	197	-
2	Маруся	РФ	216	-4	203	-3	161	-3	193	-4
3	Фокс 1	РФ	215	-5	200	-6	156	-8	190	-7
4	Восход	РФ	214	-6	201	-5	160	-4	192	-5
5	Фермер	Украина	213	-7	198	-8	158	-6	190	-7
6	Густ	Беларусь	216	-4	201	-5	161	-3	193	-4
7	Индиана	Болгария	214	-6	201	-5	160	-4	192	-5
8	Тату	Швейцария	216	-4	201	-5	161	-3	193	-4
9	KWS-Meredian	Германия	217	-3	202	-4	159	-5	193	-4
10	Cello	США	215	-5	199	-7	160	-4	191	-6
11	Pamunkey	США	211	-9	199	-7	159	-5	190	-7
12	Novosadski 331	Югославия	217	-3	202	-4	157	-7	192	-5
13	Novosadski 329	Югославия	217	-3	197	-9	160	-4	191	-6
3Sx			-	-	-	-	-	-	3,8	-

Примечание: st – стандарт.

Длительность фазы «всходы - колошение» является ключевым агрономическим показателем, дифференцирующим сорта по группам спелости. Этот параметр важен при формировании родительских комбинаций для гибридизации. Сорта с более коротким первым межфазным периодом представляют собой ценный генетический ресурс и рекомендуются использовать в качестве источников скороспелости.

Период исследований отличался своей уникальностью: разнообразие погодных условий дало

возможность провести всесторонний анализ материала и определить наиболее ценные образцы. Согласно индексу условий среды (I_j) наиболее благоприятные условия для произрастания ячменя сложились в 2024 году ($I_j=+1,08$), условия 2023 и 2025 гг. были менее благоприятны ($I_j=-0,49$, $-0,59$ соответственно). Урожайность зерна значительно варьировала за годы испытания, коэффициент вариации (V) составил от 18,9 до 81,7% (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность и показатели стабильности выделившихся сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.)
Table 2. Productivity and stability indicators of the identified winter barley varieties (2023–2025)

№ п/п	Название сорта	Происхождение	$\bar{Y}_i$, т/га	$\pm k st$	V, %	b_i
1	Тимофей, st	РФ	3,5	-	47,0	0,74
2	Маруся	РФ	4,1	0,6	35,7	1,06
3	Фокс 1	РФ	3,7	0,2	26,9	0,69
4	Степ	РФ	3,9	0,4	36,1	1,05
5	Виват	РФ	4,3	0,8	23,3	0,36
6	Премьер	РФ	2,7	-0,8	18,9	0,26
7	Вавилон	РФ	3,8	0,3	23,2	0,43
8	Андрюша	РФ	3,6	0,1	51,1	1,30
9	Восход	РФ	3,8	0,3	52,7	1,47
10	Фермер	Украина	3,6	0,1	53,2	1,42
11	Днистер	Украина	2,8	-0,7	37,7	0,78
12	Золак	Беларусь	3,4	-0,1	40,1	1,10
13	Густ	Беларусь	3,7	0,2	47,1	1,25
14	Окал	Чехия	3,3	-0,2	44,4	1,06
15	Kamil	Чехия	3,2	-0,3	81,7	1,93
16	Парадиз	Болгария	4,4	0,9	36,4	0,97
17	Индиана	Болгария	4,0	0,5	37,4	1,06
18	Тату	Швейцария	3,4	-0,1	34,2	0,77
19	Хоббит	Швейцария	3,2	-0,3	46,8	1,12
20	Vanessa	Франция	3,0	-0,5	28,3	0,57
21	Azurel	Франция	3,1	-0,4	31,7	0,59
22	KWS-Meridian	Германия	3,5	0,0	34,6	0,57
23	Cornelia	Германия	3,9	0,4	39,4	1,08
24	Cello	США	3,4	-0,1	62,9	1,36
25	Pamunkey	США	3,3	-0,2	35,6	0,89
26	Novosadski 329	Югославия	3,7	0,2	68,7	1,92
27	Novosadski 331	Югославия	3,1	-0,4	55,3	1,32
28	Sombrero	Англия	3,3	-0,2	45,4	1,19
29	Karisma	Англия	3,6	0,1	28,5	0,64
30	Vectra	Нидерланды	3,8	0,3	32,4	0,92
3Sx			-	0,4	-	-

Примечание. $\bar{Y}_i$ – средняя урожайность за 2023-2025 гг.; V % – коэффициент вариации; b_i – коэффициент линейной регрессии; st – стандарт.

Сорта Виват, Премьер и Вавилон (РФ) имели показатель низкой вариабельности относительно других сортов и $b_i < 1$, что указывает на слабую реакцию сорта на изменения условий возделывания.

У сортов Маруся, Степ (РФ), Парадиз, Индиана (Болгария), Cornelia (Германия) отмечена достоверная прибавка урожайности к стандарту и коэффициент линейной регрессии ($b_i \approx 1$), данные образцы являются адаптированными к условиям региона и в меньшей степени снижают показатель урожайности.

Наибольшим варьированием отличались сорта Андрюша, Восход (РФ), Фермер (Украина), Kamil (Чехия), Cello (США), Novosadski 329 и Novosadski 331 (Югославия) ($V > 50\%$). У данных образцов коэффициент регрессии (b_i) больше 1, что характеризует их как

отзывчивые на условия выращивания.

В среднем за годы изучения по урожайности достоверно превысили стандарт Тимофей сорта Маруся, Степ, Виват (РФ), Парадиз, Индиана (Болгария), Cornelia (Германия) (от +0,4 до +0,9 т/га к стандарту).

Количество продуктивных стеблей на единицу площади перед уборкой зависит не только от комплекса технологических факторов (норма высева, глубина заделки, обеспеченность элементами питания), но и от конкретного сорта. В условиях 2023 и 2024 гг. в коллекционном питомнике в среднем было сформировано 550 и 570 шт/м² продуктивных стеблей, а в условиях засушливого 2025 года в среднем было сформировано малое количество стеблей 386 шт/м². В селекционных программах используются

сорта с большим количеством стеблей на 1 м², так как этот признак является одним из основных составляющих урожайности. Согласно Методическим указаниям по изучению мировой коллекции сорта Золак (Беларусь), Виват (РФ), Novosadski 331 (Югославия)

и KWS-Meridian (Германия) сформировали среднее количество продуктивных стеблей от 501 шт. и более и рекомендуются для использования в селекционных программах как источники продуктивной кустистости (табл. 3).

Таблица 3. Сорта озимого ячменя, выделившиеся по признаку «количество продуктивных стеблей на 1 м²» (2023–2025 гг.)

Table 3. Winter barley varieties identified due to the trait 'a number of productive stems per 1m²' (2023–2025)

№п/п	Название сорта	Происхождение	Количество продуктивных стеблей на 1 м ² , шт.			Среднее
			2023 г.	2024 г.	2025 г.	
1	Тимофей, st	РФ	501	518	370	463
2	Золак	Беларусь	568	532	486	529
3	Виват	РФ	529	592	426	516
4	Novosadski 331	Югославия	534	588	424	515
5	KWS-Meridian	Германия	511	549	443	501
3Sx			-	-	-	35,2

Примечание: st – стандарт.

Между признаками «урожайность» и «количество продуктивных стеблей на 1 м²» установлена достоверная средняя положительная связь ($r=0,63$, $p=0,00$). У сортов, формирующих количество

продуктивных стеблей от 480 шт./м², урожайность увеличивалась до значений, достоверно превышающих стандартный сорт (рис. 3).

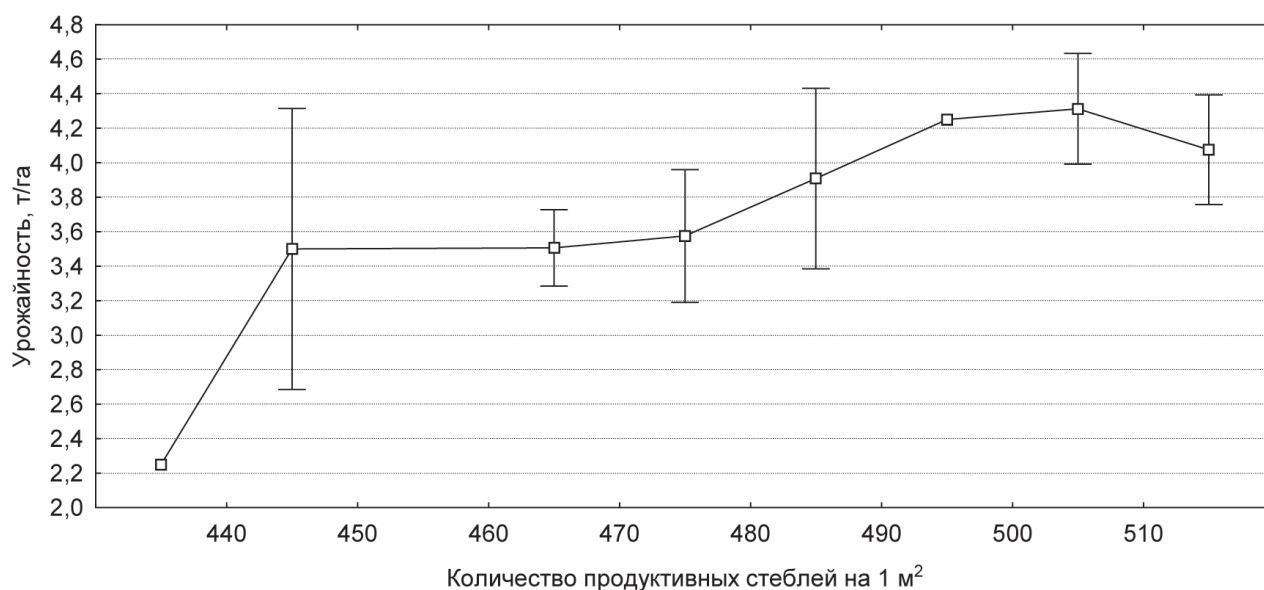


Рис. 3. Взаимосвязь между числом продуктивных стеблей и урожайностью сортов озимого ячменя (2023–2025 гг.)

Fig. 3. Correlation between 'a number of productive stems' and productivity of winter barley varieties (2023–2025)

Масса 1000 зерен является одним из показателей структуры урожайности, оказывающих весомое влияние на продуктивность растения. Признаки «масса 1000 зерен» и «урожайность» связаны достоверной средней положительной связью ($r=0,36$, $p=0,01$). Масса 1000 зерен в среднем за 3 года варьировала от 34,8 до 53,2 г. Согласно Методическим указаниям по изучению мировой коллекции все изучаемые сорта

были распределены на 4 группы. Группа с очень низкими (от 30,1 до 36,0 г) и низкими (36,1 до 40,0 г) значениями массы 1000 зерен составила 13% и 39%, соответственно, а в группу со средними значениями (40,1 – 45,0 г) вошло 29% сортов. Высокую массу 1000 зерен от 45,1 г и более сформировали 19% сортов (рис. 4).

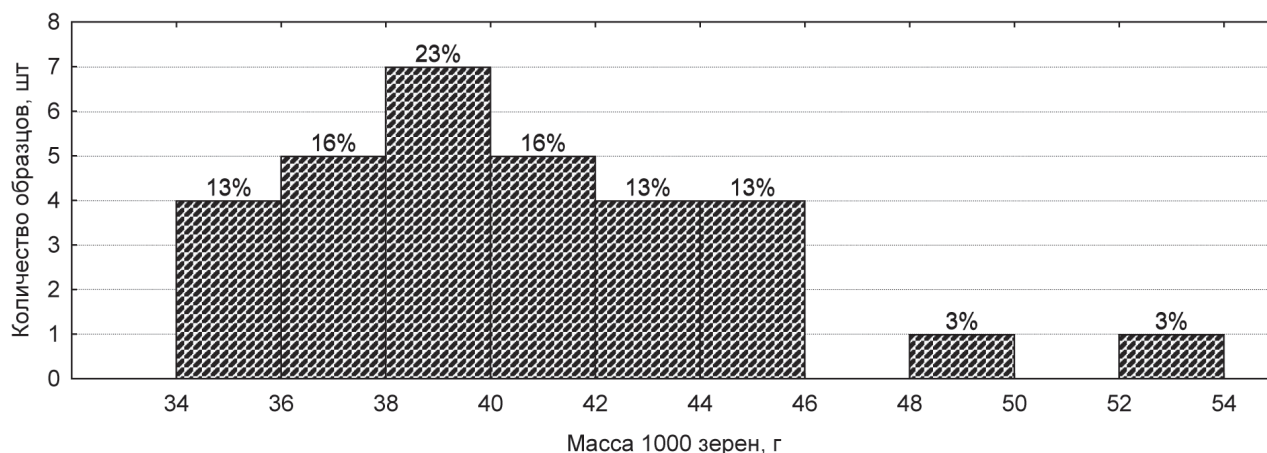


Рис. 4. Распределение сортов озимого ячменя по признаку «масса 1000 зерен» (2023–2025 гг.)

Fig. 4. Distribution of winter barley varieties according to the trait '1000-grain weight' (2023–2025)

Были выделены образцы коллекции, сформировавшие высокую массу 1000 зерен при контрастных погодных условиях. Они рекомендуются в качестве

источников крупнозерности в селекционных программах (табл. 4), а также в качестве более устойчивых к засухе в период налива зерна.

Таблица 4. Источники крупнозерности озимого ячменя (2023–2025 гг.)

Table 4. Sources of large grain size of winter barley (2023–2025)

№ п/п	Название сорта	Происхождение	Масса 1000 зерен, г			Средняя
			2023 г.	2024 г.	2025 г.	
1	Тимофей, st	РФ	32,5	43,5	37,3	37,8
2	Vanessa	Франция	54,3	57,5	47,8	53,2
3	Премьер	РФ	46,3	55,8	47,3	49,8
4	Cello	США	44,8	49,8	42,3	45,6
5	Парадиз	Болгария	42,8	52,8	40,0	45,2
6	Индиана	Болгария	43,3	52,8	39,8	45,3
7	KWS-Meredian	Германия	41,3	54,8	39,3	45,1
3Sx			-	-	-	4,2

Примечание: st – стандарт.

При отборе материнских или отцовских форм на продуктивность не менее важным показателем является количество зерен в колосе. Между признаками «урожайность» и «количество зерен в колосе» достоверных связей не обнаружено ($r=0,11$, $p=0,67$).

Анализируя данные, удалось выделить сорта, которые не зависимо от погодных условий, формировали количество зерен в колосе более 53 шт. (табл. 5) и могут использоваться селекционерами в качестве источника признака высокой озерненности.

Таблица 5. Источники озимого ячменя по признаку «озерненность колоса» (2023–2025 гг.)

Table 5. Sources of winter barley according to the trait 'grain content per ear' (2023–2025)

№ п/п	Название сорта	Происхождение	Количество зерен в колосе по годам, шт.			
			2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее
1	Тимофей, st	РФ	60	56	51	56
2	Виват	РФ	54	60	52	55
3	Маруся	РФ	55	58	53	55
4	Novosadski 331	Югославия	58	57	55	57
5	Azurel	Германия	56	60	50	55
6	Vectra	Нидерланды	57	56	53	55
7	Тату	Швейцария	58	54	49	54
8	Густ	Чехия	58	52	50	53
9	Парадиз	Болгария	55	53	55	53
3Sx			-	-	-	4,5

Примечание: st – стандарт.

По признаку «масса зерна с колоса» варьирование составило от 1,8 до 2,5 г, высокие значения отмечены у образцов Премьер (РФ), Novosadski 329 (Югославия),

Karisma (Англия) (2,5 г), Парадиз (Болгария) и Vanessa (Франция) (2,4 г) (рис. 5).

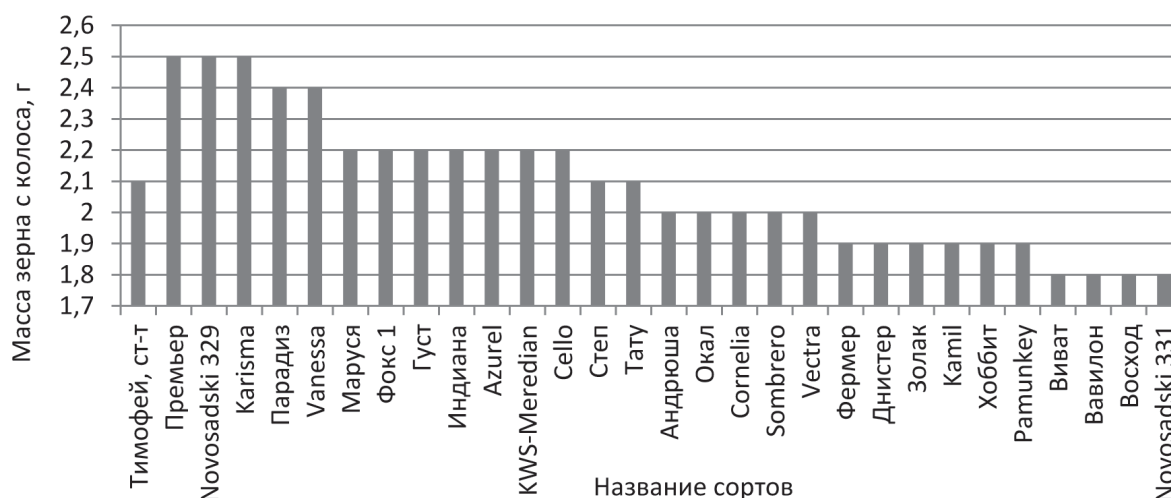


Рис. 5. Распределение сортов озимого ячменя по признаку «масса зерна с колоса» (2023–2025 гг.)

Fig. 5. Distribution of winter barley varieties according to the trait 'grain weight per ear' (2023–2025)

Между признаками «масса зерна с колоса» и «урожайность» достоверных связей обнаружено не было ($r=0,23$, $p=0,20$), а с массой 1000 зерен отмечена сильная положительная связь ($r=0,83$, $p=0,00$).

Значения признака «высота растений» находились

в пределах от 96 до 128 см. Стандарт Тимофей – 120 см. Изучаемые сорта были разделены на две группы: средневысокие (96–110 см) – 20 % и высокорослые – 80% (111–130 см) (рис. 6).

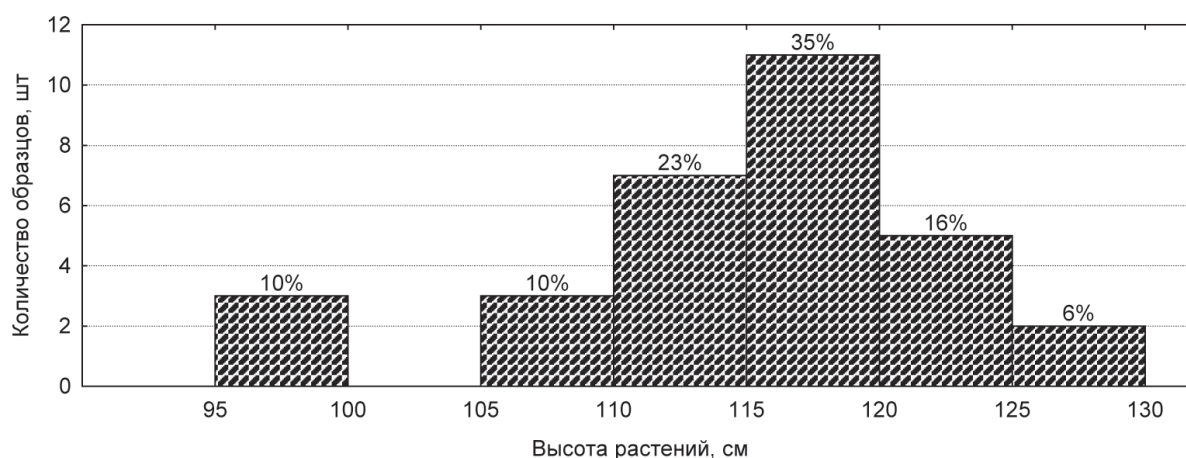


Рис. 6. Распределение сортов озимого ячменя по признаку «высота растений» (2023–2025 гг.)

Fig. 6. Distribution of winter barley varieties according to the trait 'plant height' (2023–2025)

В процессе селекции зерновых культур для идентификации сортов с высоким потенциалом урожайности применяется методика, основанная на использовании селекционных индексов. Этот подход позволяет выявлять продуктивные генотипы, что, как полагают, способствует обнаружению физиолого-генетических механизмов, определяющих продуктивность зерна, и может оказаться более эффективным по сравнению с традиционным отбором по отдельным признакам. Для анализа использовались следующие индексы: мексиканский (Mx), финно-скандинавский (FSj), индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j), индекс перспективности (J.P.).

Mx (мексиканский индекс) характеризует прочность соломины и ее устойчивость к полеганию под тяжестью колоса. Более высокий Mx отмечен у сортов Фокс 1

(0,024), Премьер (0,028) (РФ), Парадиз (0,024), Индиана (0,024) (Болгария), Cello (0,024) (США), Novosadski 329 (0,025) (Югославия), Karisma (0,026) (Англия).

С помощью финско-скандинавского индекса (FSj) осуществляется определение характеристик генотипа, связанных с его продуктивностью зерна. Высокие значения данного параметра отмечены у Фокс 1 (0,578) (РФ), Густ (0,574) (Беларусь), Novosadski 329 (0,582) (Югославия), Karisma (0,627) (Англия).

Чем выше индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе (j), тем выше селекционная ценность сорта. Выделились сорта Степ (0,889), Премьер (0,935) (РФ), Индиана (0,877) (Болгария), Vanessa (0,972) (Франция), KWS-Meredian (0,891) (Германия), Cello (0,904) (США), Novosadski 331 (0,886) (Югославия), Sombrero (0,914) (Англия).

Индекс перспективности (J.P.) учитывает возможности стебля трансформировать пластические вещества в зерно. Селекционную ценность представляют сорта с более высокими показателями: Фокс 1 (0,542), Степ (509), Премьер (0,580) (РФ), Индиана

(0,539) (Болгария), Vanessa (0,551) (Франция), KWS-Meridian (0,0,522) (Германия), Cello (0,535) (США), Novosadski 331 (0,516) (Югославия), Sombrero (0,508) (Англия), Karisma (0,501) (Англия) (табл. 6).

Таблица 6. Оценка коллекционных сортов озимого ячменя по различным селекционным индексам (среднее за 2023–2025 гг.)

Table 6. Estimation of collection winter barley varieties according to various selection indices (mean in 2023–2025)

№ п/п	Название сорта	Происхождение	Селекционные индексы							
			Mx	ранг	FSj	ранг	j	ранг	J.P.	ранг
1	Тимофей, st	РФ	0,021	17	0,555	8	0,683	26	0,427	24
2	Маруся	РФ	0,023	10	0,549	10	0,800	12	0,495	13
3	Фокс 1	РФ	0,024	4	0,578	4	0,819	11	0,542	3
4	Степ	РФ	0,022	13	0,511	25	0,889	6	0,509	8
5	Виват	РФ	0,019	25	0,514	23	0,779	15	0,444	20
6	Премьер	РФ	0,028	1	0,555	7	0,935	2	0,580	1
7	Вавилон	РФ	0,019	29	0,523	20	0,692	25	0,404	28
8	Андрюша	РФ	0,020	21	0,506	28	0,755	18	0,430	23
9	Восход	РФ	0,018	31	0,546	12	0,619	31	0,376	30
10	Фермер	Украина	0,019	28	0,513	24	0,717	23	0,412	26
11	Днистер	Украина	0,018	30	0,529	18	0,646	29	0,375	31
12	Золак	Беларусь	0,019	27	0,490	30	0,780	14	0,426	25
13	Густ	Беларусь	0,023	9	0,574	5	0,765	17	0,492	14
14	Окал	Чехия	0,020	19	0,530	17	0,754	19	0,445	19
15	Kamil	Чехия	0,019	26	0,533	16	0,679	27	0,408	27
16	Парадиз	Болгария	0,024	5	0,554	9	0,821	10	0,497	12
17	Индиана	Болгария	0,024	6	0,548	11	0,877	8	0,539	4
18	Taty	Швейцария	0,021	15	0,544	13	0,739	21	0,449	18
19	Хоббит	Швейцария	0,020	22	0,509	26	0,785	13	0,450	16
20	Vanessa	Франция	0,022	12	0,425	31	0,972	1	0,551	2
21	Azurel	Франция	0,022	11	0,558	6	0,723	22	0,454	15
22	KWS-Meridian	Германия	0,023	8	0,524	19	0,891	5	0,522	6
23	Cornelia	Германия	0,020	20	0,514	22	0,752	20	0,431	22
24	Cello	США	0,024	7	0,540	15	0,904	4	0,535	5
25	Pamunkey	США	0,019	23	0,502	29	0,822	9	0,450	17
26	Novosadski 329	Югославия	0,025	3	0,582	3	0,768	16	0,498	11
27	Novosadski 331	Югославия	0,021	16	0,520	21	0,886	7	0,516	7
28	Sombrero	Англия	0,022	14	0,508	27	0,914	3	0,508	9
29	Karisma	Англия	0,026	2	0,627	1	0,716	24	0,501	10
30	Vectra	Нидерланды	0,019	24	0,542	14	0,652	28	0,391	29
3Sx			0,02	-	0,016	-	0,161	-	0,071	-

Примечание: Mx – мексиканский индекс, FSj – финско-скандинавский индекс, j – индекс отношения массы 1000 зерен к числу зерен в колосе, J.P. – индекс перспективности, st – стандарт.

По сумме рангов используемых селекционных индексов (Mx, FSj, j, J.P.) были выделены сорта с высокой устойчивостью к варьирующим условиям среды и высокой адаптивностью: Премьер ($\Sigma=11$), Фокс 1 ($\Sigma=22$), Маруся ($\Sigma=45$) (РФ), Густ ($\Sigma=45$) (Беларусь),

Парадиз ($\Sigma=36$), Индиана ($\Sigma=29$) (Болгария), KWS-Meridian ($\Sigma=38$) (Германия), Cello ($\Sigma=31$) (США), Novosadski 329 ($\Sigma=33$) (Югославия), Karisma ($\Sigma=37$) (Англия) (рис. 7).

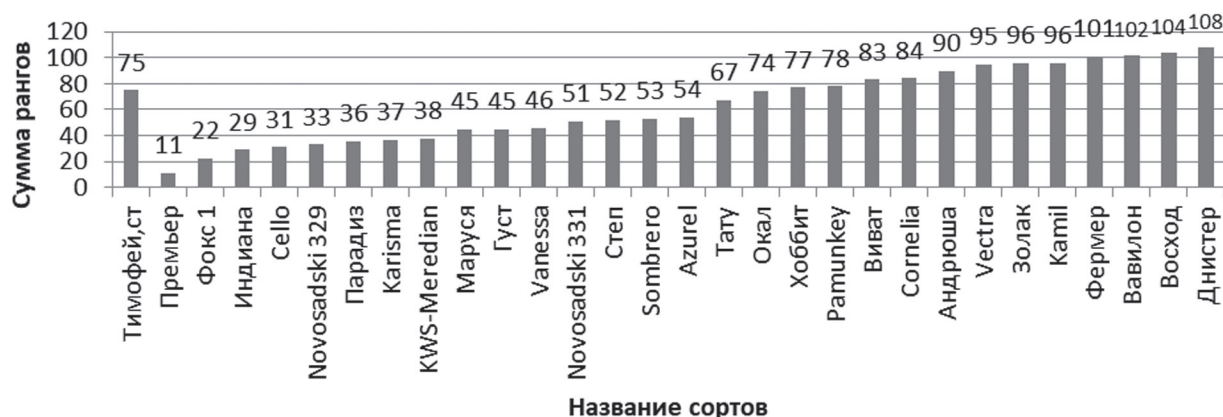


Рис. 7. Ранжирование сортов озимого ячменя по селекционным индексам

Fig. 7. Ranking of winter barley varieties according to selection indices

Выводы.

1. В результате проведенных исследований были выделены образцы, которые будут использованы в селекционных программах как источники скороспелости, крупнозерности, озерненности колоса и стабильной высокой урожайности.

2. По сумме рангов в нашем исследовании высокой устойчивостью к условиям региона обладали образцы: Премьер, Фокс 1, Маруся (РФ), Густ (Беларусь), Парадиз, Индиана (Болгария), KWS-

Meridian (Германия), Cello (США), Novosadski 329 (Югославия), Karisma (Англия).

3. Выделены образцы, сочетающие комплекс хозяйственно-ценных признаков (3 и более): Маруся, Виват (РФ), Парадиз, Индиана (Болгария), KWS-Meridian (Германия), Cello (США), Novosadski 329, Novosadski 331 (Югославия).

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FNFN-2026-001.

Библиографический список

- Базюк Д.А., Белозерова А.А., Боме Н.А. Использование селекционных индексов для оценки коллекционных образцов ярового ячменя *Hordeum vulgare* L. // Аграрная наука. 2024. №1(10). С. 96-103. DOI:10.32634/0869-8155-2024-387-10-96-103
- Горянин О. И., Мадякин Е.В., Пронович Л. В. Технологии возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 9. С. 42-47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908
- Гудзенко В.Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 1. С. 110-118.
- Зайцева И.Ю., Щенникова И.Н. Генетические ресурсы для приоритетных направлений селекции ярового ячменя в Волго-Вятском регионе // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2023. № 3. С. 73-86. DOI: 10.26897/0021-342X-2023-3-73-86
- Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Значимость комплексной оценки селекционных индексов и параметров стрессоустойчивости сортов озимой ржи // Аграрный вестник Урала. 2022. № 06 (221). С. 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26
- Сафонова И. В., Аниськов Н. И., Кобылянский В. Д. База данных генетических ресурсов коллекции озимой ржи ВИР как средство классификации генетического разнообразия, анализа истории коллекции и эффективного изучения и сохранения // Вавиловский журнал генетика и селекции. 2019. Т. 23, № 6. С. 150–156. DOI: 10.18699/VJ19.552
- Сухарев А.А., Овсянникова Г.В., Копман И.К. Урожайность озимого ячменя в южной зоне Ростовской области при посеве по предшественнику подсолнечник с разными нормами высева // Зерновое хозяйство России. 2024. № 16 (5). С. 101-107. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-101-107
- Талышкина А.Е., Шляхов В.А., Ткачук О.А. Изучение экологической пластичности сортов ярового ячменя в условиях северного прикаспия // Нива Поволжья. 2025. №2 (74). с. 1010. DOI: 10.36461/NP.2025.74.2.019
- Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Засыпкина И.М., Брагин Р.Н. Оценка исходного материала ярового ячменя в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. №1. С. 3-10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10
- Хлыстунов В.Ф., Донцова А.А., Донцов Д.П., Брагин Р.Н. и др. Отбор перспективного исходного материала озимого ячменя по методике комплексной оценки идентификаторов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2025. № 4. С. 62-76. DOI: 10.26897/0021-342X-2025-4-62-76
- Eroshenko L.M., Levakova O.V., Gladysheva O.V., Gureeva E.V. et al. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 843:012005. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012005
- Kiryuk A., Kostecka J. Pro-Environmental and Health-Promoting Grounds for Restitution of Flax (*Linum usitatissimum* L.) Cultivation // Journal of Ecological Engineering. 2020. Vol. 21, No. 7. Pp. 99–107. DOI: 10.12911/22998993/125443

References

1. Bazyuk D.A., Belozeroва A.A., Bome N.A. Ispol'zovanie selektsionnykh indeksov dlya otsenki kolleksiionnykh obraztsov yarovogo yachmenya *Hordeum vulgare* L. [The use of selection indices to evaluate collection spring barley samples (*Hordeum vulgare* L.)] // *Agrarnaya nauka*. 2024. №1(10). S. 96-103. DOI:10.32634/0869-8155-2024-387-10-96-103
2. Goryanin O. I., Madyakin E.V., Pronovich L. V. Tekhnologii vzdelyvaniya yarovogo yachmenya v zasushlivykh usloviyakh Povolzh'ya [Spring barley cultivation technologies in the arid conditions of the Volga Region] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. T. 34, № 9. S. 42-47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908
3. Gudzenko V.N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh liniy yachmenya ozimogo [Statistical and graphical (GGE biplot) estimation of the adaptive capacity and stability of winter barley breeding lines] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2019. T. 23, № 1. S. 110-118.
4. Zaitseva I.Yu., Shchennikova I.N. Geneticheskie resursy dlya prioritnykh napravlenii selektsii yarovogo yachmenya v Volgo-Vyatskom regione [Genetic resources for priority areas of spring barley breeding in the Volga-Vyatka Region] // *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2023. № 3. S. 73-86. DOI: 10.26897/0021-342X-2023-3-73-86
5. Safonova I. V., Anis'kov N. I. Znachimost' kompleksnoi otsenki selektsionnykh indeksov i parametrov stressoustoichivosti sortov ozimoi rzhii [The importance of a comprehensive assessment of selection indices and stress resistance parameters of winter rye varieties] // *Agrarnyi vestnik Urala*. 2022. № 06 (221). S. 16–26. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-16-26
6. Safonova I. V., Anis'kov N. I., Kobylanskii V. D. Baza dannykh geneticheskikh resursov kolleksii ozimoi rzhii VIR kak sredstvo klassifikatsii geneticheskogo raznoobraziya, analiza istorii kolleksii i effektivnogo izucheniya i sokhraneniya [The VIR winter rye collection genetic resource database as a tool for classifying genetic diversity, analyzing collection history, and effective study and conservation] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2019. T. 23, № 6. S. 150–156. DOI: 10.18699/VJ19.552
7. Sukharev A.A., Ovsyannikova G.V., Kopman I.K. Urozhainost' ozimogo yachmenya v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti pri poseve po predshestvenniku podsolnechnik s raznymi normami vyseva [Productivity of winter barley sown with different seeding rates after sunflower in the southern part of the Rostov region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2024. № 16 (5). S. 101-107. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-101-107
8. Talyshkina A.E., Shlyakhov V.A., Tkachuk O.A. Izuchenie ekologicheskoi plastichnosti sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh severnogo prikaspiya [The study of the ecological adaptability of spring barley varieties in the Northern Caspian Region] // *Niva Povolzh'ya*. 2025. №2 (74). s. 1010. DOI: 10.36461/NP.2025.74.2.019
9. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Doroshenko E.S., Zasypkina I.M., Bragin R.N. Otsenka iskhodnogo materiala yarovogo yachmenya v usloviyakh Rostovskoi oblasti [Estimation of spring barley initial material in the Rostov Region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2022. №1. S. 3-10. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-3-10
10. Khlystunov V.F., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Bragin R.N. i dr. Otbor perspektivnogo iskhodnogo materiala ozimogo yachmenya po metodike kompleksnoi otsenki identifikatorov [Selection of promising winter barley initial material using a comprehensive identification method] // *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2025. № 4. S. 62-76. DOI: 10.26897/0021-342X-2025-4-62-76
11. Eroshenko L.M., Levakova O.V., Gladysheva O.V., Gureeva E.V. et al. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. 843:012005. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012005
12. Kiryluk A., Kostecka J. Pro-Environmental and Health-Promoting Grounds for Restitution of Flax (*Linum usitatissimum* L.) Cultivation // *Journal of Ecological Engineering*. 2020. Vol. 21, No. 7. Pp. 99–107. DOI: 10.12911/22998993/125443

Поступила: 19.01.26; доработана после рецензирования: 19.03.26; принята к публикации: 14.04.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Донцова А.А. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи, выполнение полевых опытов; Засыпкина И.М. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Донцов Д.П. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных; Дорошенко Э.С. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Брагин Р.Н. – выполнение полевых опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПЛЕНЧАТЫХ И ГОЛОЗЕРНЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ ДЛЯ ПРИГОДНОСТИ НА КРУПЯНЫЕ ЦЕЛИ

Е.Н. Шаболкина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технолого-аналитического сервиса, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;

С.Н. Шевченко, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заведующий отделом селекции, shevchenko_sn@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;

Д.О. Долженко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы, ddolzhenko75@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2004-329X;

А.А. Бишарев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории серых хлебов, alexbisharev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5804-3298;

И.А. Калякулина, научный сотрудник лаборатории серых хлебов, irinka99rassom@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-6561-550X;

Н.В. Анисимкина, старший научный сотрудник лаборатории технолого-аналитического сервиса, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797.

Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, 446254, п. Безенчук, Самарская обл., Россия, ул. Карла Маркса, 41; 8 (84676) 2-11-40; e-mail: samniish@mail.ru

Для эффективного использования сортов ячменя по назначению необходимо углубленное изучение качества зерна ячменя, ведение селекции на улучшение конкретных биохимических и технологических показателей зерна пленчатых и голозерных сортов. Цель исследований – оценить качество зерна пленчатых и голозерных сортов ярового ячменя для пригодности на крупяные цели, установить корреляционные связи между показателями качества зерна. Исследования проводили в 2023–2025 гг. в Самарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – СамНИЦ РАН. В качестве экспериментального материала использовали 16 сортов ярового пленчатого ячменя и 4 сорта голозерного ячменя из конкурсного сортоиспытания.

При изучении селекционного материала ярового пленчатого ячменя выделена группа сортов: Безенчукский 2, Лунь, Медикум 157, Медикум 269 с высоким содержанием белка (14,2–14,3 %) и оптимальными технологическими показателями зерна: стекловидностью (57,0–60,0 %), массой 1000 зерен (49,9–56,6 г), выравненностью (94,5–97,6 %) и низкой пленчатостью (9,1–9,7 %) для пригодности на крупяные цели. Сорта голозерного ячменя Голыш и Нудум 1516 с высоким содержанием белка (16,4–16,7 %), стекловидностью (82,0–83,0 %), выравненностью зерна (86,8–88,7 %) и отсутствием пленок повысят эффективность шелушения и облегчат процесс выработки крупы. Отмечено, что зерно изучаемых сортов ячменя во все годы исследований представляло собой хорошо выполненное зерно с натурной зерна (682–785 г/л) пригодное для крупяного производства, голозерный ячмень значительно превосходил по натуре зерна пленчатые формы. Результаты корреляционного анализа дают возможность для селекционного улучшения технологических параметров зерна ячменя: установлена тесная положительная взаимосвязь во все годы исследований между массой 1000 зерен и выравненностью зерна у пленчатых сортов ячменя (0,71**; 0,72**; 0,62*) и голозерных сортов (0,95*; 0,95**; 0,99*). У голозерных сортов отмечена существенная положительная корреляция между стекловидностью и содержанием белка в зерне (0,97*; 0,96*).

Ключевые слова: пленчатый ячмень, голозерный ячмень, сорта, качество, белок, стекловидность, масса 1000 зерен, натура, пленчатость, выравненность.

Для цитирования: Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Долженко Д.О., Бишарев А.А., Калякулина И.А., Анисимкина Н.В. Оценка качества зерна пленчатых и голозерных сортов ячменя для пригодности на крупяные цели // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №3 С. 23-29. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-23-29.



EVALUATION OF GRAIN QUALITY OF HULLED AND HULLESS BARLEY VARIETIES FOR USE AS GROATS

E.N. Shabolkina, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for technical and analytical service, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;

S.N. Shevchenko, Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of RAS, head of the breeding department, shevchenko_sn@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;

D.O. Dolzhenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for common wheat breeding and seed production; ddolzhenko75@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2004-329X;

A.A. Bisharev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory of brown bread, alexbisharev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5804-3298;

I.A. Kalyakulina, researcher of the laboratory of brown bread; irinka99rassom@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-6561-550X;

N.V. Anisimkina, senior researcher of the laboratory for technical and analytical service, anisimkina.natalya@yandex.ru; ORCID ID: 0000-0001-5129-7797.

Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N.M. Tulaykov - Branch of the Samara Federal Research Scientific Center of RAS,

446254, Russia, Samara region, v. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: samniish@mail.ru; 8 (84676) 2-11-40.

To effectively use barley varieties for their intended purpose, it is necessary to study thoroughly barley grain quality and to improve specific biochemical and technological indicators of hulled and hulless varieties' grain. The purpose of the current study was to evaluate the grain quality of hulled and hulless spring barley varieties for their suitability for groats production and to establish correlations between grain quality indicators. The study was conducted at the Samara Federal Research Scientific Center of RAS from 2023 to 2025. The material for trials included 16 hulled spring barley varieties and 4 hulless barley varieties from the Competitive Variety Testing. When studying the breeding material of spring hulled barley, there has been identified a group of varieties Bezenchukskiy 2, Lun, Medikum 157, Medikum 269 with a high protein percentage (14.2-14.3%) and optimal technological indicators of grain such as hardness (57.0-60.0%), 1000-grain weight (49.9-56.6 g), grain uniformity (94.5-97.6%) and low hull content (9.1-9.7%) which could be used for groats purposes. The hulless barley varieties Golysh and Nudum 1516, with high protein percentage (16.4-16.7%), hardness (82.0-83.0%), grain uniformity (86.8-88.7%), and the absence of hulls, will improve hulling efficiency and facilitate the groats production process. There has been noted that the grain of the studied barley varieties throughout the research period was good-sized, with a grain nature weight of 682-785 g/l, suitable for groats production. The hulless barley has significantly surpassed hulled varieties in grain nature weight. The correlation results give an opportunity to improve the technological parameters of barley grain. There has been established a close positive correlation between the 1000-grain weight and grain uniformity in hulled barley varieties (0.71**, 0.72**, 0.62*) and hulless varieties (0.95*, 0.95**, 0.99*). The hulless varieties have demonstrated a significant positive correlation between hardness and protein percentage in grain (0.97*, 0.96*).

Keywords: *hulled barley, hulless barley, varieties, quality, protein, hardness, 1000-grain weight, grain unit, hull content, uniformity.*

Введение. Ячмень – одна из важнейших, широко распространенных злаковых культур, которую используют в качестве пищевого источника и в России и в западных странах для производства продуктов здорового питания (крупы ячневая и перловая, сухие завтраки) и в качестве ингредиента для расширения ассортимента функциональных изделий (йогурты и творожки с долей бета-глюканов, ячменный кофе, хлебные изделия с добавлением ячменной муки), способствующих профилактике ряда серьезных заболеваний (Сумина и Полонский 2020; Choi et al., 2020; Полонский и др., 2021). Продукты из зерна ячменя нашли место и в специализированном питании для диабетиков с низким содержанием крахмала, белком с полноценным составом аминокислот, с высоким уровнем растворимых и нерастворимых пищевых волокон (Полонский и др., 2018; Шаболкина и др., 2025).

Продовольственное использование ячменя увеличивает спрос на качественное и высокотехнологичное сырье. Ячменная крупа (ГОСТ 5784-2022) должна вырабатываться из ценных по качеству сортов ячменя по ГОСТ 28672-2019, в котором из технологических показателей нормируется натура зерна. Приоритетными показателями при производстве крупы являются: стекловидность, выравненность, содержание белка в зерне. Стекловидность зерна имеет большое значение при промышленной переработке зерна и влияет на выработку, товарный вид и потребительские достоинства крупы, поэтому производители заинтересованы в стекловидном ячмене (Петухова и др., 2018; Николаев и др., 2019). Ячневая крупа высокого качества с наибольшим выходом образуется при переработке зерна со стекловидным эндоспермом. Переработка полустекловидных и мучнистых ячменей позволяет получить перловую

крупу с большим объемным выходом и лучшими органолептическими показателями каши. Зерно ячменя с выравненностью (однородностью) 80% и более считается ценным и обеспечивает максимальный выход и качество крупы (Губанова и Губанов, 2018). Белок в зерне продовольственного ячменя не регламентируется документами, но его повышенное содержание интересует и крупяные предприятия, и хлебопекарные так, как каши и хлебобулочные изделия более калорийны и питательны, если они изготовлены из высокобелковых сортов ячменя (Левакова и Ерошенко, 2019; Шаболкина и др., 2023).

Пленчатые сорта ячменя по сравнению с голозерными менее технологичны: требуют больше энергетических затрат на выработку крупы и муки, больше потерь полезных для здоровья веществ уходит с оболочкой и алейроновым слоем, поэтому ячмень голозерный прочно занял место в перерабатывающих отраслях. Голозерный ячмень востребован в пищевой индустрии, его используют не только в производстве различных круп, но и в качестве добавок при приготовлении функционального питания: общая сумма аминокислот в белке выше более чем на 50,0 %, чем в пленчатом ячмене, а так же наблюдается преимущество по содержанию белка, бета-глюканов и жирных кислот в зерне (Железнов и др., 2013; Лукина и др., 2022). Зерно голозерного ячменя в большинстве случаев стекловидное и свободно от пленок, поэтому выход крупы из голозерных форм значительно выше, для эффективного технологического использования целесообразна замена части пленчатого ячменя голозерным (Филиппов и Дорошенко, 2015).

Для эффективной и качественной выработки крупы необходимо, чтобы зерно ячменя соответствовало ГОСТу и определенным требованиям, соответствующим

ячменю крупяного направления. Для этого необходимо углубленное изучение качества зерна ячменя, ведение селекции на улучшение конкретных биохимических и технологических показателей зерна пленчатых и голозерных сортов, повышение питательности зерна и вкусовых качеств.

Цель исследований – оценить качество зерна пленчатых и голозерных сортов ярового ячменя для пригодности на крупяные цели, установить корреляционные связи между показателями качества зерна.

Материалы и методы исследований. На экспериментальной базе Самарского НИИСХ в течение 2023–2025 годов изучались биохимические и технологические показатели зерна 16 сортов пленчатого и 4 сортов голозерного ячменя из конкурсного сортоиспытания. Стандартами служили засухоустойчивый сорт интенсивного типа Пересвет собственной селекции и Стрелецкий голозерный, созданный в сотрудничестве ФНЦ ЗБК и Самарского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН. Опыт размещали в селекционном зернопаровом севообороте по предшественнику горох. Агротехника в опыте – зональная. Площадь делянки 20 м², повторность четырёхкратная, по схеме рендомизированных блоков.

Оценку качества зерна ячменя проводили в соответствии с национальными стандартами Российской Федерации: содержание азота белкового по ГОСТ 10846-91, крахмала по ГОСТ 10845-98, стекловидности по ГОСТ 10987-76, массу 1000 зерен по ГОСТ 10842-89, натуру зерна по ГОСТ 10840-2017, пленчатости зерна по ГОСТ 10843-76, выравненности зерна (Беркутова, 1991). Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по Б.А. Доспехову (Доспехов, 2014).

Агрометеорологические условия в годы исследова-

ний были различными и характеризовались как умеренно благоприятные в 2023 году, неблагоприятные в 2024 году и благоприятные в 2025 году.

В 2023 г. вегетация ячменя проходила в условиях неустойчивого температурного режима воздуха и неравномерного выпадения осадков. Максимальное отклонение средней температуры воздуха от многолетних значений составило от +5,3°C (3 декада мая) до -4,3°C (3 декада июня), количество осадков по декадам колебалось от 0,8 мм до 25,8 мм. Всего за вегетацию ячменя выпало 121,6 мм осадков (на 8,8 % ниже нормы), ГТК составил 0,7 (засуха средней силы).

Условия сезона 2024 г. характеризовались жёстким гидротермическим режимом. Начальный период вегетации протекал при сильном дефиците осадков, который отчасти компенсировался пониженной температурой воздуха. Температура воздуха в июне и июле была соответственно на 2,3°C и 0,9°C выше среднемноголетних значений, а выпадавшие осадки носили ливневый характер. Всего за вегетацию ячменя выпало 91,5 мм осадков (на 33,4 % ниже нормы), ГТК составил 0,56 (сильная засуха).

Погодные условия 2025 года были благоприятными для роста и развития ярового ячменя. Максимальное отклонение средней температуры воздуха от многолетних значений составило от +1,9°C (1 декада июня) до -3,6°C (3 декада июня), количество осадков по декадам колебалось от 1,2 мм до 35,4 мм. На момент окончания созревания зерна (2 декада июля) температура воздуха была выше многолетних значений на 1,1°C и равнялась 23,0°C, а сумма осадков за декаду составила 21,5 мм (134,4 % от нормы).

Результаты и их обсуждение. Массовая доля белка в зерне ячменя на крупяные цели не регулируется нормативными документами, но от ее содержания зависит калорийность и питательность пищевых продуктов. В среднем за 2023–2025 годы содержание белка в зерне пленчатого ячменя (табл.1) колебалось от 12,9 до 14,8 %.

Таблица 1. Биохимические и технологические показатели пленчатого и голозерного ячменя, 2023–2025 годы

Table 1. Biochemical and technological indicators of hulled and hulless barley, 2023–2025

Сорт, линия	Белок, %	Крахмал, %	Стекловидность, %	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Пленчатость, %	Выравненность, %
Пленчатый ячмень							
Пересвет, st.	13,2	56,6	53,0	48,5	709	10,3	97,6
Холзан	13,3	56,4	58,0	48,3	710	10,0	93,9
Орлан	13,3	56,2	51,0	50,0	701	10,1	97,5
Финист	14,0	56,0	49,0	46,2	692	10,2	93,3
Безенчукский 2	14,3	56,3	54,0	49,2	689	9,6	97,6
Беркут	13,3	56,2	54,0	47,2	704	10,4	91,9
Ястреб	13,9	56,2	51,0	48,2	696	10,2	95,5
Лунь	14,2	56,2	52,0	56,6	694	9,7	94,7
Поволжский 65	14,0	56,6	59,0	45,4	720	9,9	91,8
Агат	14,2	56,2	51,0	49,5	682	9,9	96,0
Батик	12,9	56,7	57,0	45,7	704	10,0	86,8
Поволжский 22	13,3	57,1	54,0	48,8	739	10,7	91,5
Волгарь	14,8	56,3	55,0	45,7	703	9,7	89,5

Продолжение табл. 1

Медикум 157	14,1	56,2	60,0	49,9	702	9,7	94,5
Медикум 269	14,2	57,0	57,0	51,2	698	9,1	95,3
Нутанс 553	14,3	56,1	54,0	46,0	697	9,8	91,8
НСР ₀₅	0,9	-	3,0	1,2	25	0,5	2,2
Голозерный ячмень							
Стрелецкий голозерный, st.	15,9	56,0	70	47,7	744	-	90,4
Нудум 1505	16,0	53,8	72	43,7	785	-	82,8
Голыш	16,4	53,9	82	46,8	748	-	88,5
Нудум 1516	16,7	54,8	83	45,8	737	-	86,8
НСР ₀₅	0,4	1,5	9	2,1	21	-	1,6

Примечание: st – стандарт.

С высоким содержанием белка выделилась группа пленчатых сортов: Безенчукский 2, Лунь, Агат, Волгарь, Медикум 269, Нутанс 553 (14,2–14,8 %). Максимальное содержание белка отмечено у голозерных форм ячменя 15,9–16,7 % (сорт Стрелецкий голозерный, st. – 15,9%), в данной группе выделились высокобелковые сорта: Голыш (16,4 %) и Нудум 1516 (16,7 %). Согласно Международному классификатору СЭВ рода *Hordeum* L., к группе высокобелковых сортов (от 14,1 %) относится пленчатый сорт Медикум 157 и голозерный сорт Нудум 1505.

Погодные условия вегетационного периода во время испытаний повлияли на накопление белковых веществ в зерне пленчатого и голозерного ячменя. В 2025 году в условиях благоприятных для развития вегетативной массы ярового ячменя и формирования высокой урожайности наблюдалось минимальное содержание белка в зерне за годы наблюдений: у пленчатых сортов 11,0–13,9 % у голозерных сортов 14,0–

15,6 %. Жёсткий гидротермический режим в период налива и созревания зерна в 2024 году (ГТК составил 0,56) способствовал значительному накоплению белковых веществ в зерне пленчатых сортов (14,4–17,2%) и голозерных сортов ячменя (19,4–20,2%). Максимальное содержание белка в зерне отмечено у сортов голозерного ячменя Нудум 1505 и Нудум 1516 (20,2 %). При выработке крупы сошлифовывание поверхностного слоя зерна у пленчатых ячменей ведет к удалению ценных компонентов, в том числе и белка. У голозерных форм ввиду отсутствия затрат на освобождение от цветочных пленок время обработки оптимизировано (Филиппов и Дорошенко, 2015), что обеспечивает повышенный выход крупы с меньшими потерями белка и полезных для здоровья веществ. Анализ корреляционных данных (табл. 2) в 2024 и 2025 годах (контрастные по погодным условиям годы) показал достоверную отрицательную зависимость между содержанием белка и натурой зерна у сортов пленчатого ячменя (-0,60*; -0,61*).

Таблица 2. Матрица коэффициентов корреляции показателей качества зерна ярового пленчатого ячменя в 2023, 2024, 2025 годах

Table 2. Matrix of correlation coefficients of grain quality indicators of spring hulled barley in 2023, 2024, 2025

Год	Показатели	Белок, %	Крахмал, %	Стекловидность, %	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Пленчатость, %	Выравненность, %
2023	Белок, %	1,00	-	-	-	-	-	-
	Крахмал, %	-0,44	1,00	-	-	-	-	-
	Стекловидность, %	-0,06	0,45	1,00	-	-	-	-
	Масса 1000 зерен, г	-0,08	0,15	-0,02	1,00	-	-	-
	Натура, г/л	0,01	0,54*	0,78**	-0,23	1,00	-	-
	Пленчатость, %	-0,29	-0,15	-0,65**	0,22	-0,47	1,00	-
	Выравненность, %	-0,02	-0,11	-0,36	0,71**	-0,47	0,20	1,00
2024	Белок, %	1,00	-	-	-	-	-	-
	Крахмал, %	-0,82**	1,00	-	-	-	-	-
	Стекловидность, %	-0,29	0,48	1,00	-	-	-	-
	Масса 1000 зерен, г	-0,12	0,14	-0,06	1,00	-	-	-
	Натура, г/л	-0,60*	0,55*	0,36	-0,10	1,00	-	-
	Пленчатость, %	-0,22	-0,05	0,17	-0,49	0,26	1,00	-
	Выравненность, %	0,06	-0,14	-0,34	0,72**	0,03	-0,42	1,00
2025	Белок, %	1,00	-	-	-	-	-	-
	Крахмал, %	-0,55*	1,00	-	-	-	-	-
	Стекловидность, %	0,13	0,17	1,00	-	-	-	-
	Масса 1000 зерен, г	-0,13	0,06	-0,28	1,00	-	-	-
	Натура, г/л	-0,61*	0,57*	0,53*	-0,36	1,00	-	-
	Пленчатость, %	-0,81**	-0,02	-0,18	0,13	0,52*	1,00	-
	Выравненность, %	0,15	-0,34	-0,39	0,62*	-0,46	0,06	1,00

Примечание: * - значимость на 5% уровне;
 ** - значимость на 1% уровне.

По содержанию крахмала в зерне в среднем за годы исследований (табл. 1) изучаемые сорта пленчатого ячменя (56,0–57,1 %) находились на уровне сорта-стандарта Пересвет (56,6%), существенных различий между сортами не отмечено; у голозерных сортов содержание крахмала было достоверно ниже уровня сорта-стандарта Стрелецкий голозерный (56,0%). В 2025 году при минимальном содержании белка в зерне и высокой урожайности ячменя содержание крахмала в зерне было наибольшим за годы испытаний и у пленчатых сортов (59,5–60,6 %) и у голозерных (56,2–61,8 %). Мучнистый ячмень наиболее ценен не в крупяном производстве, а в пивоварении, так как от содержания крахмала зависит экстрактивность зерна. Согласно данным (табл. 2) в острожасушливом 2024 году и в условиях повышенной влагообеспеченности в 2025 году установлена обратная корреляционная связь между содержанием крахмала и белка в зерне ($-0,82^{**}$; $-0,55^{*}$).

Одно из требований к ячменю пищевого направления использования - высокая стекловидность эндосперма, поэтому в настоящее время все чаще селекцию ячменя направляют на повышение стекловидности зерна. Стекловидность отражает плотность эндос-

перма, связь крахмальных зерен с белком. Результаты исследований показывают, стекловидность зерна (табл. 1) варьировала у пленчатых сортов ячменя от 51,0 до 60,0 %, выделилась группа сортов с повышенной стекловидностью зерна, достоверно превышающих сорт-стандарт Пересвет (53,0 %): Холзан (58,0 %), Поволжский 65 (59,0 %), Батик (57,0 %), Медикум 157 (60,0 %), Медикум 269 (57,0 %). Данный показатель в 2023 и 2025 годах был положительно сопряжен с натурой зерна ($0,78^{**}$; $0,53^{*}$). У голозерных сортов стекловидность зерна колебалась в пределах 70,0–83,0 %, выделились сорта с высокой стекловидностью Голыш (82,0 %) и Нудум 1516 (83,0 %). Отмечено, что стекловидность связана с накоплением белка в зерне ячменя и с его пленчатостью: высокостекловидные образцы содержат больше белка по сравнению с мучнистыми (Петухова и др., 2018). За годы исследований у высокобелковых сортов голозерного ячменя Голыш и Нудум 1516 зерно характеризовалось более стекловидным эндоспермом. У голозерных сортов (табл.3) отмечена существенная положительная корреляция между стекловидностью и содержанием белка в зерне ($0,97^{*}$; $0,96^{*}$) в 2024 и в 2025 годах, недостоверная положительная связь в 2023 году ($0,47$).

Таблица 3. Матрица коэффициентов корреляции показателей качества зерна ярового голозерного ячменя в 2023, 2024, 2025 годах

Table. 3. Matrix of correlation coefficients of grain quality indicators of spring hulless barley in 2023, 2024, 2025

Год	Показатели	Белок, %	Крахмал, %	Стекло-видность, %	Масса 1000 зерен, г	Натура зерна, г/л	Выравненность, %
2023	Белок, %	1,00	-	-	-	-	-
	Крахмал, %	0,45	1,00	-	-	-	-
	Стекло-видность, %	0,47	-0,55	1,00	-	-	-
	Масса 1000 зерен, г	0,72	0,90	-0,27	1,00	-	-
	Натура, г/л	-0,70	-0,66	-0,12	-0,60	1,00	-
	Выравненность, %	0,89	0,71	0,07	0,95*	-0,59	1,00
2024	Белок, %	1,00	-	-	-	-	-
	Крахмал, %	0,55	1,00	-	-	-	-
	Стекло-видность, %	0,97*	0,87	1,00	-	-	-
	Масса 1000 зерен, г	-0,86	-0,43	0,07	1,00	-	-
	Натура, г/л	0,60	0,05	-0,46	-0,90	1,00	-
	Выравненность, %	-0,86	-0,43	0,07	0,95**	0,91	1,00
2025	Белок, %	1,00	-	-	-	-	-
	Крахмал, %	-0,55	1,00	-	-	-	-
	Стекло-видность, %	0,96*	-0,45	1,00	-	-	-
	Масса 1000 зерен, г	-0,06	0,52	0,22	1,00	-	-
	Натура, г/л	-0,60	-0,21	-0,76	-0,72	1,00	-
	Выравненность, %	-0,20	0,64	0,07	0,99*	-0,64	1,00

Примечание: * - значимость на 5% уровне;

** - значимость на 1% уровне.

Масса 1000 зерен и натура зерна характеризуют крупность зерна и влияют на качество крупяных продуктов и их производство. Наибольшая масса 1000 зерен отмечена у пленчатых сортов ячменя, достоверно превысила сорт-стандарт Пересвет (48,5 г) сорта: Орлан (50,0 г), Лунь (56,6 г), Медикум 157 (49,9 г), Медикум 269 (51,2 г). У изучаемых голозерных сортов ячменя масса 1000 зерен (43,7–46,8 г) была достоверно ниже сорта-стандарта Стрелецкий голозерный (47,7 г). По абсолютной массе зерна сорта пленчатого и голозерного ячменя относятся к категории крупных

по весу (Филиппов и др., 2013), что обеспечивает при выработки больший выход ячменной крупы. Результаты корреляционного анализа (табл.2, 3) дают возможность для селекционного улучшения технологических параметров зерна ячменя: установлена тесная положительная взаимосвязь во все годы исследований между массой 1000 зерен и выравненностью зерна у пленчатых сортов ячменя ($0,71^{**}$; $0,72^{**}$; $0,62^{*}$) и голозерных сортов ($0,95^{*}$; $0,95^{**}$; $0,99^{*}$).

Для крупяного производства наиболее пригодно высоконатурное зерно, анализ данных показал,

что зерно изучаемых сортов ячменя во все годы исследований было хорошо выполненным с натурой зерна выше 630 г/л, что соответствует требованиям ГОСТ 28672-90. В среднем за 2023–2025 годы натура зерна у пленчатых сортов ячменя (табл.1) колебалась в пределах 682 – 739 г/л, выделился сорт Поволжский 65. Голозерный ячмень по натуре зерна (737–785 г/л) превосходил значительно пленчатые формы, выделился сорт Нудум 1505, который во все годы исследований имел наибольшую натурную массу (740–811 г/л). Данный показатель во все годы исследований был положительно сопряжен с содержанием крахмала в зерне (0,54*; 0,55*; 0,57*). Высоконатурное крупное зерно, содержащее больше эндосперма, при выработке крупы способствует снижению массы побочных продуктов размола и энергозатрат.

Низкая пленчатость ячменя также является положительным фактором при выработке крупы и муки. За 2023–2025 годы пленчатость зерна ярового ячменя (табл.1) колебалась в пределах 9,1–10,7 %, достоверно ниже сорта-стандарта Пересвет (10,3%) выделились сорта: Безенчукский 2 (9,6 %), Лунь (9,7 %), Волгарь (9,7 %), Медикум 157 (9,7 %), Медикум 269 (9,1 %). Наименьшее значение пленчатости зерна ячменя во все годы исследований показал сорт Медикум 269 (8,5–9,4 %). С одной стороны, данный параметр зависит от сортовых особенностей, с другой – от условий выращивания. В условиях дефицита влаги в 2023 (ГТК 0,7 – засуха средней силы) и 2024 (ГТК 0,56 – сильная засуха) годах наблюдалось снижение пленчатости зерна (8,4–10,5 %), а в 2025 году в условиях повышенной влагообеспеченности пленчатость была существенно выше (9,4–11,7 %). Сорта ячменя с низкой пленчатостью и голозерные сорта облегчают процесс переработки зерна благодаря эффективности шелушения и оптимизации времени выработки.

Выравненность зерна у сортов пленчатого ячменя в

годы исследований (табл. 1) была достаточно высокой на уровне 90 % и выше, у голозерного ячменя колебалась от 82,8 до 90,4 %. При определении выравненности зерна и других технологических показателей необходимо учитывать особенности голозерных сортов ячменя, так как нормативные документы разрабатывались для пленчатых сортов.

Выводы. Проведенная комплексная оценка сортов пленчатого и голозерного ярового ячменя позволила выделить образцы, пригодные для использования на крупяные цели. Все изученные сорта за годы исследований сформировали высоконатурное зерно, пригодное для крупяного производства, причём голозерный ячмень (737–785 г/л) значительно превосходил пленчатые формы (682–720 г/л). Высоким содержанием белка в зерне 14,2–14,3 % и оптимальными технологическими показателями зерна: стекловидность 57,0–60 %, масса 1000 зёрен 49,9–56,6 г, выравненность 94,5–97,6 % и низкой пленчатостью (9,1–9,7 %) выделились пленчатые сорта Безенчукский 2, Лунь, Медикум 157 и Медикум 269. Высокобелковые сорта голозерного ячменя Голыш и Нудум 1516 (16,4–16,7 %) с высокой стекловидностью (82–83 %), выравненностью зерна (86,8–88,7 %) и отсутствием плёнок повысят эффективность шелушения и процесс выработки крупы.

Установленные корреляции между массой 1000 зёрен и выравненностью, как у пленчатых (0,71**; 0,72**; 0,62*), так и у голозерных (0,95*; 0,95**; 0,99*) форм, между стекловидностью и содержанием белка (0,97*; 0,96*) у голозерных сортов могут использоваться в селекционном процессе на улучшение показателей качества зерна.

Финансирование. Работа выполнена сотрудниками Самарского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН в рамках государственного задания Минобрнауки России для СамНЦ РАН по теме FMRW-2024-0017.

Библиографический список

1. Беркутова Н.С. Методы оценки и формирование качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.
2. Губанова В.М., Губанов М.В. Технологические и биохимические характеристики зерна пленчатого и голозерного ячменя в условиях Северного Зауралья // Пермский аграрный вестник. 2018. № 4. С. 47–51.
3. Железнов А.В., Кукоева Т.В., Железнова Н.Б. Ячмень голозерный: происхождение, распространение и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 2. С. 286–297.
4. Левакова О.В., Ерошенко Л.М. Высокобелковые сорта и перспективные линии ярового ячменя // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 6. С. 23–25. DOI: 10.30850/vrsn/2019/6/23-25
5. Лукина К.А., Ковалева О.Н., Лоскутов И.Г. Голозерный ячмень; систематика, селекция и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26. № 6. С. 524–536. DOI: 10.18699/VSGB-22-64
6. Николаев П.Н., Юсова О.А., Политуха О.В., Панкратьев И.А., Зверев С.В. и др. Характеристика крупяных свойств голозерного ячменя // Аграрная Россия. 2019. № 7. С. 14–17. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-7-14-17
7. Петухова И.А., Рябчун В.К., Музафарова В.А., Падалка Е.И. Оценка стекловидности зерна ячменя ярового крупяного направления использования // Вестник Белорусской Государственной Сельскохозяйственной Академии. 2018. № 4. С. 30–34.
8. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 3. С. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370
9. Полонский В.И., Суринов Н.А., Герасимов С.А. и др. Оценка образцов ячменя на содержание β-глюканов в зерне и другие ценные признаки в условиях Восточной Сибири // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 1. С. 48–58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58
10. Сумина А.В., Полонский В.И. Содержание ценных веществ в зерне ячменя, выращенного в контрастных климатических условиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50, № 1. С. 23–31. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-3
11. Филиппов Е.Г., Дорошенко Э.С. Голозерный ячмень состояние изученности и перспективы использования // Зерновое хозяйство России. 2015. № 4. С. 8–12.
12. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П. Новые засухоустойчивые сорта ярового ячменя // Зерновое хозяйство России. 2013. № 5. С. 43–45.

13. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Бишарев А. А., Калякулина И. А., Анисимкина Н. В. Оценка урожайности, содержания белка в зерне и пленчатости ярового ячменя в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 72-77. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-72-77

14. Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Долженко Д.О., Калякулина И.А., Анисимкина Н.В. Аминокислотный состав белков голозерного ячменя // Зерновое хозяйство России. 2025. № 2. С. 13-19. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-13-19

15. Choi H., Esser A., Murphy K. M. Genotype × environment interaction and stability of β-glucan content in barley in the Palouse region of eastern Washington // Crop Science. 2020. Vol. 60. Iss. 5. P. 2500–2510. DOI: 10.1002/csc2.20181.

References

1. Berkutova N.S. Metody otsenki i formirovaniye kachestva zerna [Methods for grain quality estimation and development]. M.: Rosagropromizdat, 1991. 206 s.

2. Gubanova V.M., Gubanov M.V. Tekhnologicheskie i biokhicheskie kharakteristiki zerna plenchatogo i golozernogo yachmenya v usloviyakh Severnogo Zaural'ya [Technological and biochemical characteristics of hulled and hullless barley grain in the Northern Trans-Urals] // Permskii agrarnyi vestnik. 2018. № 4. S. 47-51.

3. Zheleznov A.V., Kukoeva T.V., Zheleznova N.B. Yachmen' golozernyi: proiskhozhdenie, rasprostraneniye i perspektivy ispol'zovaniya [Hullless barley: origin, distribution, and prospects of use] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2013. T. 17. № 2. S. 286-297.

4. Levakova O.V., Eroshenko L.M. Vysokobelkovyye sorta i perspektivnyye linii yarovogo yachmenya [High-protein varieties and promising lines of spring barley] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaystvennoi nauki. 2019. № 6. S. 23-25. DOI: 10.30850/vrsn/2019/6/23-25

5. Lukina K.A., Kovaleva O.N., Loskutov I.G. Golozernyi yachmen'; sistematika, selektsiya i perspektivy ispol'zovaniya [Hullless barley: taxonomy, breeding, and prospects of use] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2022. T. 26, № 6. S. 524-536. DOI: 10.18699/VSGB-22-64

6. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Politukha O.V., Pankrat'ev I.A., Zverev S.V. i dr. Kharakteristika krupyanykh svoystv golozernogo yachmenya [Characteristics of the groat properties of hullless barley] // Agrarnaya Rossiya. 2019. № 7. S. 14-17. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-7-14-17

7. Petukhova I.A., Ryabchun V.K., Muzafarova V.A., Padalka E.I. Otsenka steklovidnosti zerna yachmenya yarovogo krupyanogo napravleniya ispol'zovaniya [Estimation of the hardness of spring barley grain for use as groats] // Vestnik Belorusskoi Gosudarstvennoi Sel'skokhozyaystvennoi Akademii. 2018. № 4. S. 30-34.

8. Polonskii V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Selektsiya na sodержание antioksidantov v zerne kak perspektivnoye napravleniye dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya [Breeding for antioxidant content in grain as a promising direction for healthy food production] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. T. 22, № 3. S. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370

9. Polonskii V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A. i dr. Otsenka obraztsov yachmenya na sodержание β-glyukanov v zerne i drugie tsennyye priznaki v usloviyakh Vostochnoi Sibiri [Estimation of barley samples for the content of β-glucan in grain and other valuable traits in Eastern Siberia] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. T. 182, № 1. S. 48–58. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-48-58

10. Sumina A.V., Polonskii V.I. Soderzhanie tsennykh veshchestv v zerne yachmenya, vyrashchennogo v kontrastnykh klimaticheskikh usloviyakh [Content of valuable substances in barley grain grown in contrasting weather conditions] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaystvennoi nauki. 2020. T. 50, № 1. S. 23-31. DOI: 10.26898/0370-8799-2020-1-3

11. Filippov E.G., Doroshenko E.S. Golozernyi yachmen' sostoyaniye izuchennosti i perspektivy ispol'zovaniya [Hullless barley: state of study and prospects of use] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2015. № 4. S. 8-12.

12. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P. Novyye zasukhoustoichivyye sorta yarovogo yachmenya [New drought-tolerant spring barley varieties] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2013. № 5. S. 43-45

13. Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Bisharev A. A., Kalyakulina I. A., Anisimkina N. V. Otsenka urozhainosti, sodержaniya belka v zerne i plenchatosti yarovogo yachmenya v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Estimation of productivity, grain protein percentage, and hull content of spring barley in the Middle Volga Region] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2023. T. 15, № 4. S. 72–77. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-72-77

14. Shabolkina E.N., Shevchenko S.N., Dolzhenko D.O., Kalyakulina I.A., Anisimkina N.V. Aminokislotoyny sostav belkov golozernogo yachmenya [Amino acid composition of proteins in hullless barley] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2025. № 2. S. 13-19. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-13-19

15. Choi H., Esser A., Murphy K. M. Genotype × environment interaction and stability of β-glucan content in barley in the Palouse region of eastern Washington // Crop Science. 2020. Vol. 60. Iss. 5. P. 2500–2510. DOI: 10.1002/csc2.20181

Поступила: 18.03.26; доработана после рецензирования: 09.04.26; принята к публикации: 14.04.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шаболкина Е.Н. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Шевченко С.Н. – концептуализация исследования; Долженко Д. О. – анализ данных и их интерпретация; Бишарев А.А. – сбор данных; Калякулина И. В. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Анисимкина Н.В. – выполнение химико-технологических анализов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ФИТОТОКСИЧНАЯ И БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОВСА ПОСЕВНОГО (*AVENA SATIVA* L.) ТЮМЕНСКОЙ СЕЛЕКЦИИ К ДЕЙСТВИЮ ИОНОВ АЛЮМИНИЯ

А.А. Ахтямова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, gen.i72@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0297-6958;

А.В. Любимова, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве, ostapenkoav88@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1570-9595;

Ю.В. Савельева, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, savelyeva25@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-8445-3754.

НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН, 625501, РФ, Тюменская область, Тюменский район, п. Московский, ул. Бурлаки, д. 2.

Цель исследований – изучить фитотоксичное влияние возрастающей концентрации ионов алюминия на генотипы овса посевного (*Avena sativa* L.) в ювенильный период. Объектом испытаний были сорта овса, которые являются селекционным достижением НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН и имеют повсеместное распространение в сельском хозяйстве. Оценка фитотоксичности различных концентраций ионов алюминия проводили по методической рекомендации МР 2.1.7.2297-07 путём сопоставления показателей длины семидневных корешков контрольных и опытных образцов. Водные растворы для проращивания образцов овса готовили из сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) с концентрацией ионов алюминия 4, 9 и 15 моль/л. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. В результате исследований выявлен наиболее устойчивый к токсическому воздействию ионов алюминия на ранних этапах онтогенеза с концентрацией 4 и 9 ммоль/л сорт Тобольск – фитотоксический эффект достиг 43 и 80% соответственно. Восприимчивым к стресс-фактору был сорт Отрада, который характеризовался сильным ингибирующим эффектом. Негативное влияние ионы алюминия оказали и на массу первичных корешков, что привело к её снижению на 72–80% относительно контроля ($CV=7–12\%$). Индекс соотношения массы корней и побегов на контроле составлял 1, тогда как при стресс-факторе он снижался до 0,2–0,4 ед., что объясняется перераспределением питательных веществ в растениях в наземную массу независимо от генотипа овса. Для биохимической оценки выделяли геномную ДНК из семидневных coleoptiles и корешков растений овса, проросших в дистиллированной воде (контроль) и при концентрации ионов алюминия в растворе 15 ммоль/л. Далее проводили электрофорез в 1% агарозном геле, содержащем 10 мкл 1% бромистого этидия. При визуализации целостности ДНК coleoptiles контрастных генотипов при помощи Гель-документирующей системы GelDoc Go отклонений относительно контроля не наблюдалось. Тогда как при воздействии ионов алюминия на первичные корешки растений выявлена деградация ДНК, что может использоваться как маркер для ранней диагностики восприимчивых и устойчивых генотипов овса.

Ключевые слова: фитотоксичность, биохимическая оценка, овёс посевной (*Avena sativa* L.), ионы алюминия, аллюмоустойчивые генотипы, электрофорез, деградация ДНК.

Для цитирования: Ахтямова А.А., Любимова А.А., Савельева Ю.В. Фитотоксичная и биохимическая оценка овса посевного (*Avena sativa* L.) Тюменской селекции к действию ионов алюминия // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18. №3. С. 30-35. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-30-35.



PHYTOTOXIC AND BIOCHEMICAL ESTIMATION OF OATS (*AVENA SATIVA* L.) OF TYUMEN BREEDING TO ALUMINUM IONS

A.A. Akhtyamova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for genomic researches in plant breeding, gen.i72@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0297-6958;

A.V. Lyubimova, Candidate of Biological Sciences, head of the laboratory for genomic researches in plant breeding, ostapenkoav88@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1570-9595;

Yu.V. Savelyeva, junior researcher of the laboratory for genomic researches in plant breeding, savelyeva25@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-8445-3754.

SRIA for NTU – branch of FSI FRC TSC SB of RAS;
625501, Russia, Tyumen region, Moskovsky, Burlaki Str., 2.

The purpose of the current work was to study the phytotoxic effects of increasing aluminum ion concentrations on oat genotypes (*Avena sativa* L.) during the juvenile stage. The objects of the study were the oat varieties which were a selection achievement of the SRIA for NTU – branch of TSC SB of RAS and are widely used in agriculture. The phytotoxicity of various aluminum ion concentrations was estimated according to methodological recommendation MR 2.1.7.2297-07 by comparing the seven-day root lengths of control and experimental samples. Aqueous solutions for oat germination were prepared from aluminum sulfate ($Al_2(SO_4)_3$) with aluminum ion concentrations of 4, 9, and 15 mol/l. Distilled water

was used as a control. The current study has identified the variety Tobolyak as the most resistant to the toxic effects of aluminum ions at early stages of ontogenesis, with concentrations of 4 and 9 mmol/l, respectively. The variety Otrada was more sensitive to the stress factor, exhibiting a strong inhibitory effect. Aluminum ions also had a negative effect on primary rootlet mass, resulting in a 72–80% decrease relative to the control (CV = 7–12%). The root-to-shoot mass ratio in the control was 1, while under stress, it decreased to 0.2–0.4 units. This is explained by the redistribution of plant nutrients to the above-ground mass, regardless of oat genotype. For biochemical estimation there has been isolated a genomic DNA from seven-day-old coleoptiles and roots of oat plants germinated in distilled water (control) and at a concentration of 15 mmol aluminum ions per liter. Then there has been carried out an electrophoresis in a 1% agarose gel containing 10 μ L of 1% ethidium bromide. When visualizing the DNA integrity of coleoptiles of contrasting genotypes using the GelDoc Go gel documentation system, there was no deviations from the control. However, there has been established a DNA degradation at the exposure of primary plant roots to aluminum ions, which can be used as a marker for early detection of susceptible and resistant oat genotypes.

Keywords: phytotoxicity, biochemical estimation, oats (*Avena sativa* L.), aluminum ions, aluminum-resistant genotypes, electrophoresis, DNA degradation.

Введение. Возделывание сельскохозяйственной продукции сопровождается высокой антропогенной нагрузкой на почву, что в результате отражается на обменной кислотности. Активное применение минеральных удобрений приводит к высвобождению катионов водорода (H^+) и алюминия (Al^{3+}) из почвенно-поглощающего комплекса переходя в доступную форму для растений в связи с чем почвы сельскохозяйственного назначения становятся менее эффективными (Кластер и др., 2023). Территория пахотных угодий в Тюменской области по данным Росреестра составляет 1160,8 тыс. га из которых 72 % являются кислыми. Присутствие ионов алюминия в водорастворимой форме оказывает негативное влияние на рост и развитие растений. Под воздействием ионов алюминия происходит нарушение клеточного метаболизма корневой системы вызывая её деформацию (снижение длины и массы корешков, уменьшение количества корневых волосков), что влияет на эффективность обмена веществ и протекание физиологических и биохимических процессов в растениях (Loskutov et al., 2022; Ofое et al. 2023). Снижение эффективности поглощения питательных веществ растениями отрицательно влияет на урожайность и качество получаемой продукции.

Овес посевной (*Avena sativa* L.) относится к группе зернофуражных культур и обладает относительно высокой устойчивостью при возделывании на кислых почвах. Данная культура имеет широкое распространение в пищевой промышленности и особенно ценна в области диетического питания безглютеновых продуктов (Rodriguez et al., 2022). В области кормопроизводства овес возделывают не только для получения зерна, но и в качестве зеленого корма имеет широкое распространение благодаря своим полезным свойствам. Посевные площади овса в России по данным Росстата достигают 104,7 тыс. га, из которых 10% приходится на Тюменскую область. Овес является наименее требовательной культурой и обладает относительной устойчивостью к кислотности почвы, что позволяет размещать в севообороте замыкающее место. С учетом сложившихся обстоятельств активно ведутся исследования по созданию генотипов овса устойчивых к повышенной кислотности почв и токсическому проявлению ионов алюминия (Лоскутов и др., 2024).

Определение признаков толерантности к ионам алюминия на ранних стадиях развития растений позволяет оптимизировать селекционные процессы, направленные на создание новых сортов. Механизмы, отвечающие за адаптационную и регуляторную функцию

устойчивости растений к токсичному проявлению ионов алюминия, контролируется генетически. В связи с этим активно ведутся исследования по установлению маркеров позволяющих прогнозировать степень устойчивости и восприимчивости растений к ионам алюминия (Яковлева, 2025; Zuev et al., 2024).

Цель исследований – изучить влияние возрастающей концентрации ионов алюминия на генотипы овса посевного (*Avena sativa* L.) в ювенильный период.

Материалы и методы исследований. Фитотоксичную и биохимическую оценку влияния ионов алюминия на растения овса проводили в лаборатории геномных исследований в растениеводстве НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН в 2025 году. Объектом испытаний были 6 образцов овса посевного: Отрада, Фома, Талисман, Тоболяк, Сириус и Радужный. Указанные сорта являются селекционным достижением Института и имеют широкое распространение в Тюменской области (Любимова и др., 2022; Иванова и др., 2023).

Оценку фитотоксичности различных концентраций ионов алюминия проводили по методической рекомендации МР 2.1.7.2297-07 путём сопоставления показателей длины корня контрольных и опытных образцов (Русаков и др., 2008). Водные растворы для проращивания образцов овса готовили из сульфата алюминия ($Al_2(SO_4)_3$) с концентрацией ионов алюминия 4, 9 и 15 моль/л. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Для создания благоприятных условий для прорастания зерна овса опытные образцы помещали в электрический суховоздушный термостат ТС-1/80 СПУ при постоянной температуре 20 °С. По истечении 7-и дней инкубации был произведен замер длины наибольшего корня каждого проростка на всех вариантах и контроле. Величину эффекта торможения развития первичных корешков при воздействии возрастающей концентрации ионов алюминия определяли по формуле 1. Токсичное действие считалось доказанным, если фитозффект составлял более 20 %.

$$E_t = \frac{L_k - L_{on}}{L_k} \times 100\% \quad (1)$$

где: E_t – эффект торможения; %

L_{on} – средняя длина корней в опыте, мм.

L_k – средняя длина корней в контроле, мм.

Сухую массу корней и побегов растений овса определяли из 100 проросших зерен в четырехкратном

повторении. Растительный материал высушивали (100 °С) с последующим взвешиванием.

Для определения влияния высоких концентраций ионов алюминия на деградацию ДНК, выделяли геномную ДНК из семидневных coleoptiles и корешков растений овса, проросших в дистиллированной воде (контроль) и при концентрации ионов алюминия в растворе 15 ммоль/л. Использовали методику, описанную Н.В. Кононенко с соавторами (2019), с модификациями. Для анализа отбирали по 4 coleoptiles и кончики корешков (5–7 мм) одних и тех же растений. Растительный материал помещали в 2,0 мл пробирки Eppendorf, приливали 800 мкл экстракционного буфера (20 мл 1М Трис-НCl, 5 мл 5М NaCl, 5 мл 0,5М ЭДТА, 5 мл 10% SDS, деионизированная вода до 100 мл) и гомогенизировали тefлоновыми пестиками. Затем вносили 15 мкл Протеиназы-К, инкубировали 60 мин при 37 °С, центрифугировали и отбирали верхнюю фазу (700 мкл). Депротеинизацию проводили внесением равного объема смеси хлороформ-изоамиловый спирт (24:1). После центрифугирования образцов, отбирали водную фазу, вносили в нее 10 мкл РНКазы А и инкубировали 30 мин при 37 °С. После повторяли депротеинизацию смесью хлороформ-изоамилового спирта в течение 5 мин. Далее образцы центрифугировали, переносили водную фазу в новую пробирку и осаждали ДНК добавлением 600 мкл ледяного изопропанола. Образцы центрифугировали и

дважды промывали ДНК 70% этанолом. Полученный осадок ДНК растворяли в 100 мкл деионизированной воды. Оценку чистоты и количества ДНК образцов проводили путём измерения концентрации нуклеиновых кислот при помощи микроспектрофотометра Nano-500 (Allsheng, Китай) с определением соотношений A260/A280 и A260/A230 нм. Для оценки целостности выделенной ДНК проводили электрофорез в 1% агарозном геле, содержащем 10 мкл 1% бромистого этидия. Для этого 5 мкл образцов ДНК смешивали с 5 мкл 6х загрузочного буфера (ДиазМ). Электрофорез проводили в горизонтальных камерах (Mupid-EX, Япония) в трис-боратном буфере при постоянном напряжении 150 В течение 40 мин. Использовали маркеры молекулярного веса ДНК-Лэддер М-100 и ДНК-Лэддер М-1Кб (Диалат, Россия). После электрофореза ДНК визуализировали при помощи Гель-документирующей системы GelDoc Go (BioRad, Сингапур).

Математическую обработку данных и дисперсионный анализ проводили с использованием надстройки AgCStat для программного продукта Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Сортовая реакция овса на стресс, вызванный ионами алюминия, проявлялась при минимальной изучаемой концентрации. Наименее устойчивым оказался сорт Отрада, у которого фитотоксический эффект при 4 ммоль/л ионов алюминия составил 75% (рис. 1).

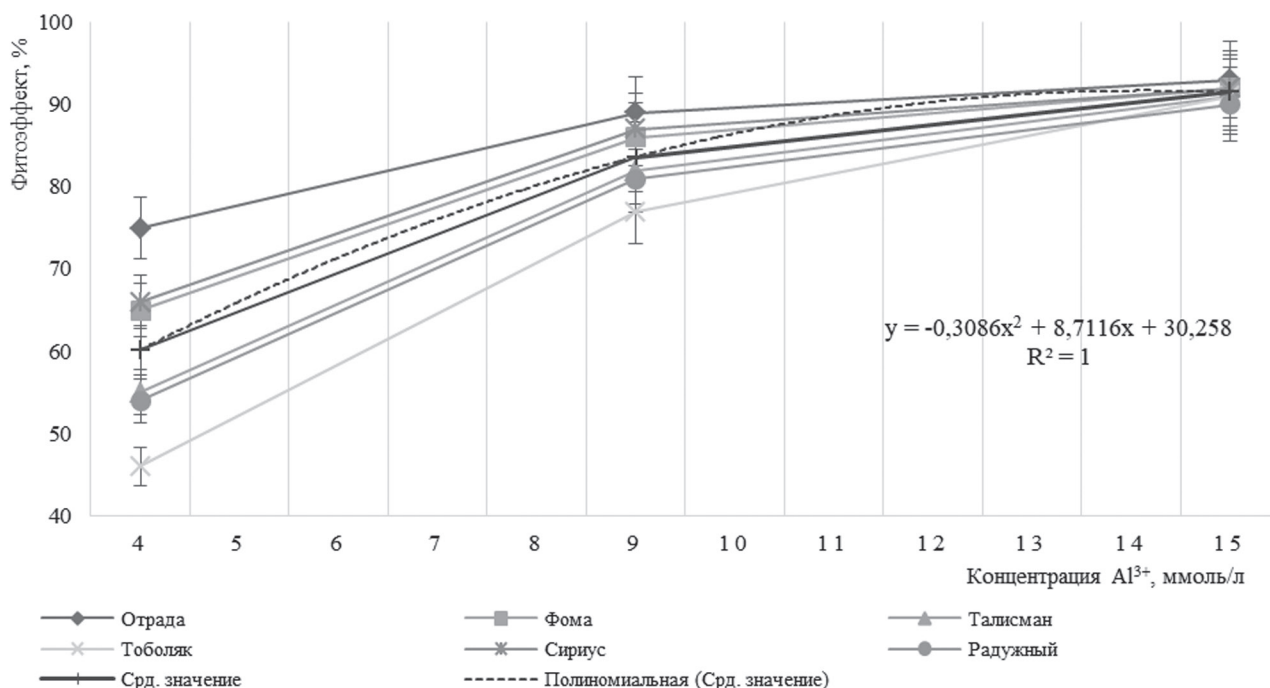


Рис. 1. Фототоксическая оценка влияния ионов алюминия на развитие первичных корешков относительно контроля при 5%- уровне погрешности, %

Fig. 1. Phototoxicity estimation of the effect of aluminum ions on primary root development relative to the control at a 5% level of error, %

Примечание. HCP_{05} по фактору A=3%; HCP_{05} по фактору B=3%; HCP_{05} по взаимодействию AB=4%, фактор A – сорт, фактор B – концентрация ионов алюминия.

Наиболее близкими к Отраде оказались сорта Фома и Сириус, фитоэффект которых был 65 и 66 % соответственно. Сорта Талисман и Радужный были более устойчивы к токсическому действию алюминия – фитоэффект составил 54–55%. Максимальной алюмоустойчивостью характеризовался сорт Тоболяк, у которого токсичное действие было минимальным – 43 %. Устойчивость этого генотипа прослеживается и при более высокой концентрации ионов алюминия (9 ммоль/л) – фитоэффект составил 80%, тогда как у Отрады и Фомы он достиг 86-89%. Сорта Талисман и Радужный не имели достоверных отличий между собой независимо от исследуемого варианта ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор.}}$ при $p=5\%$). Дальнейшее повышение концентрации ионов алюминия до 15 ммоль/л оказало тотальный негативный эффект на прорастание изучаемых сортов овса. Фитоэффект составил 90-93% независимо от изучаемых сортов. Это указывает на видовой порог устойчивости овса к токсическому действию алюминия.

В ходе исследований была установлена достоверная связь ($R^2=1$) между возрастающей концентрацией ионов алюминия и токсичным действием на развитие семидневных корешков растений овса. Регрессионное

полиномиальное уравнение, достоверно в диапазоне содержания ионов алюминия в растворе от 4 до 15 ммоль/л. Уравнение соответствует следующему типу:

$$y = -0,3086x^2 + 8,7116x + 30,258 \quad (2)$$

где; y – фитоэффект, %;

x – концентрация ионов алюминия в растворе, ммоль/л.

В связи с токсичным проявлением ионов алюминия на длину корней семидневных растений овса, была проведена оценка их влияния на массу корней и побегов. При стресс-факторе темпы роста и развития растений изменяются, подстраиваясь к условиям окружающей среды. Масса корней овса на контроле варьировала от 0,25 до 0,41 г – столь существенный разброс обусловлен сортовой особенностью (рис. 2). Вариабельность данного признака на контроле была слабой – CV находился в пределах 3-8%. Индекс соотношения массы корней и побегов (СКП) равнялся 1, что объясняется равномерным распределением питательных веществ в растениях.

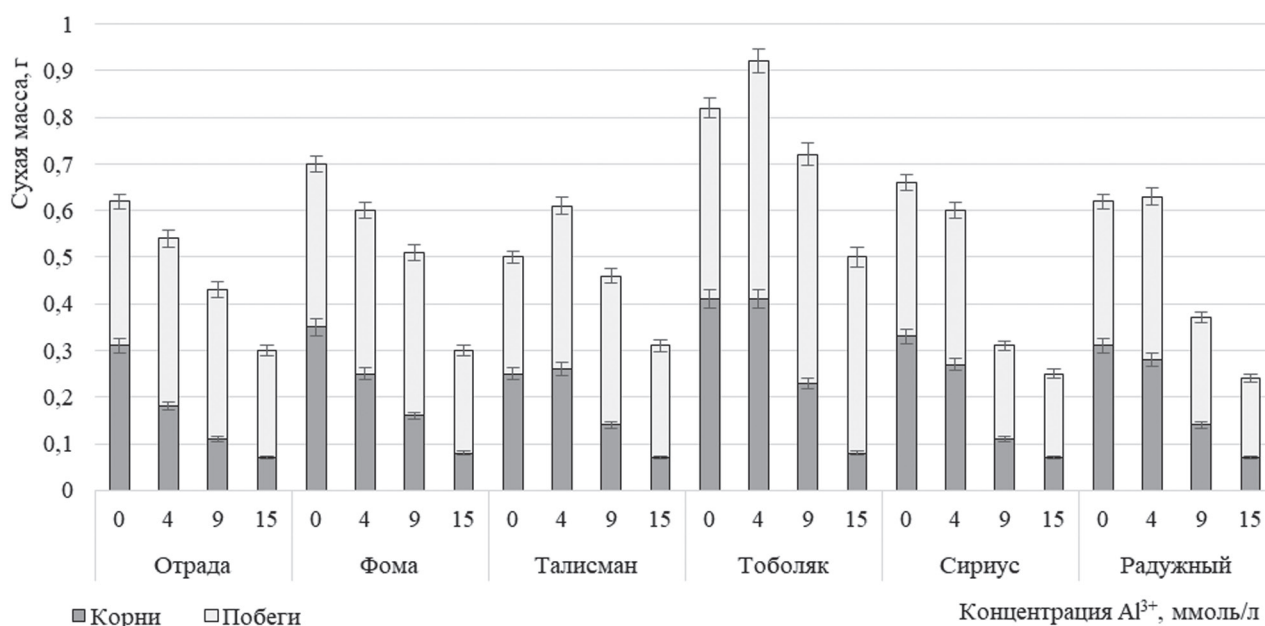


Рис. 2. Сухая масса семидневных корней и побегов овса в зависимости от концентрации ионов алюминия при 5-ти % уровне погрешности, г

Fig. 2. Dry weight of seven-day-old oat roots and shoots depending on the concentration of aluminum ions at a 5% level of error, g

Проращивание растений овса на варианте с концентрацией ионов алюминия 4 ммоль/л не оказало существенного влияния на массу корней относительно контроля у сортов Талисман, Тоболяк и Радужный ($F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$ при $p=5\%$). Тогда как у сортов Отрада, Фома и Сириус наблюдалось снижение массы корней на 10–42% относительно контроля (CV<10%). При концентрации Al^{3+} 4 ммоль/л наблюдалось увеличение массы побегов на 11–35% относительно контроля у сортов Отрада, Талисман, Тоболяк и Радужный.

Увеличение концентрации Al^{3+} до 9 ммоль/л негативно отразилось на массе первичных корешков растений овса. Наименее чувствительными к стресс-фактору были сорта Талисман и Тоболяк – масса

корней уменьшилась в 1,8 раза относительно контроля (CV 9 и 15% соответственно).

На варианте с максимальной концентрацией Al^{3+} наиболее чувствительными оказались первичные корешки, масса которых уменьшилась на 72–80% относительно контроля (CV=7–12%). Индекс соотношения корней и побегов составил 0,2-0,4 ед., что объясняется перераспределением питательных веществ в растениях независимо от сорта. Динамика изменения сухой массы корней и побегов генотипов овса имело умеренную положительную корреляционную связь (0,69) относительно возрастающей концентрации ионов алюминия в растворе.

С увеличением концентрации ионов алюминия в

растворе, используемом для прорастания растений овса, наблюдали деструкцию coleoptiles и деформацию первичных корешков. Поэтому была проведена оценка целостности ДНК coleoptiles и корешков овса электрофорезным методом, проросших на контроле (вода) и в растворе с концентрацией

ионов алюминия 15 ммоль/л. Для анализа были выбраны контрастные генотипы овса по устойчивости к токсичному действию ионов алюминия. По результатам анализа наиболее устойчивого сорта Тобольск не выявлено признаков деградации ДНК, полученной из coleoptiles и корней (рис. 3).

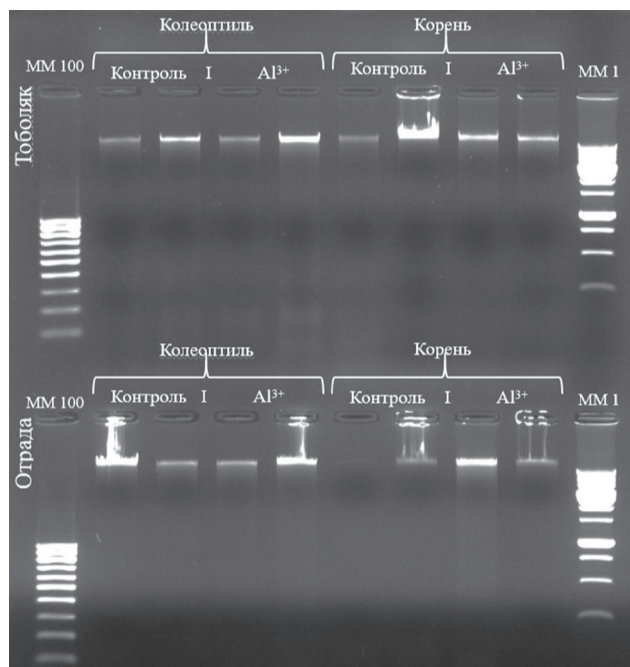


Рис. 3. Электрофорезные спектры ДНК сортов овса Тобольск и Отрада при воздействии ионов алюминия на раннем этапе онтогенеза

Обозначения: Маркеры молекулярного веса ДНК-Лэддер М-100 (100-1000 пар оснований) и ДНК-Лэддер М-1Кб (250-10000 пар оснований)

Fig. 3. Electrophoretic DNA spectra of the oat varieties Tobolyak and Otrada when affected by aluminum ions at an early stage of ontogenesis

Designations: molecular weight markers DNA-Ladder M-100 (100-1000 base pairs) and DNA-Ladder M-1Kb (250-10,000 base pairs)

При воздействии ионов алюминия на восприимчивый сорт Отрада происходила интенсивная деградация ДНК в корешках. Это вызвано тем, что основной мишенью токсичного проявления ионов алюминия были первичные корешки растений овса, что также отражалось на их длине и массе. В связи с этим ДНК корешков растений овса может являться маркером для оценки устойчивости генотипов к ионам алюминия.

Выводы. Наиболее устойчивым к токсическому воздействию ионов алюминия на ранних этапах онтогенеза с концентрацией 4 и 9 ммоль/л был сорт Тобольск – фитозффект достиг 43 и 80% соответственно. Восприимчивым к стресс-фактору был сорт Отрада,

который характеризовался сильным ингибирующим эффектом. Установлено, что основной мишенью ионов алюминия является снижение ростовых процессов семидневных корешков растений овса, которое отражается в фитозффекте и массе. Под действием ионов алюминия выявлена деградация ДНК в корешках растений овса, что также может использоваться как маркер для ранней диагностики восприимчивых и устойчивых генотипов овса.

Финансирование. Работа выполнена за счет государственного задания 124022900011-6 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Библиографический список

1. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Брагина М. В. Оценка технологических показателей коллекционных сортов овса в Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 10. С. 2-10. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-2-10. EDN JLENNF
2. Кононенко Н. В., Диловарова Т. А., Канавский Р. В., Лебедев С. В., Баранова Е. Н., Федореева Л. И. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2019. Т. 14, № 1. С. 18-39. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39. EDN BABIAD
3. Клостер Н. И., Азаров В. Б., Лоткова В. В. Изменение кислотности чернозема типичного и формирование урожайности зерновых культур при биологической системе земледелия в условиях Центрально-черноземной зоны // Земледелие. 2023. № 5. С. 42-45. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-5-42-45. EDN TGSEGX
4. Лоскутов И. Г., Блинова Е. В., Новикова Л. Ю. Изучение разнообразия алюмоустойчивости образцов овса из коллекции ВИР // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185, № 1. С. 129-138. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-129-138. EDN CZZPYG
5. Любимова А. В., Еремин Д. И., Кочнева Д. А. Изменение показателей генетической структуры популяции сортов овса, возделываемых в Тюменской области, за 90-летний период // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12(189). С. 32-41. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41. EDN JVDCDC
6. Русаков Н. В., Крятов И. А., Пиртахия Н. В., Тонкопий Н. И., Карцева Н. Ю., Стародубов А. Г. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности: Методические рекомендации // Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. Москва. 2008. 15 с.

7. Яковлева О. В. Генетический контроль признака алюмоустойчивости у образцов ярового ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2025. Т. 186, № 1. С. 170-176. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-170-176. EDN PGAGWI
8. Loskutov I. G., Butris V., Kosareva I. A., Blinova E. V., Novikova Yu. L. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2022. Vol. 183, No. 3. P. 96-110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110. EDN WCLSLXA
9. Ofoe R. Thomas R. H., Asiedu S. K., Wang-Pruski G., Fofana B., Abbey L. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.1085998
10. Rodriguez J.M., Estevez V., Bascunan K., Ayala J., Araya M. Commercial oats in gluten-free diet: A persistent risk for celiac patients// Sec. Nutritional Immunology. 2022. Vol. 9. DOI: 10.3389/fnut.2022.986282
11. Zuev E. V., Lebedeva T. V., Yakovleva O. V., Kolesova M. A., Brykova A. N., Lysenko N. S., Tyryshkin L. G. Genetic Diversity for Effective Resistance in Wheat Landraces from Ethiopia and Eritrea to Fungal Diseases and Toxic Aluminum Ions // Plants. 2024. Vol. 13, No. 8. DOI: 10.3390/plants13081166. EDN GMBLVY.

References

1. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Bragina M. V. Otsenka tekhnologicheskikh pokazatelei kollektsionnykh sortov ovsa v Tyumenskoi oblasti [Estimation of the technological indicators of oat varieties in the Tyumen region] // Agrarnyi vestnik Urala. 2023. T. 23, № 10. S. 2-10. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-2-10. EDN JLENNF
2. Kononenko N. V., Dilovarova T. A., Kanavskii R. V., Lebedev S. V., Baranova E. N., Fedoreeva L. I. Otsenka morfologicheskikh i biokhimicheskikh parametrov ustoichivosti razlichnykh genotipov pshenitsy k khloridnomu zasoleniyu [Estimation of morphological and biochemical parameters of chloride salinity resistance of various wheat genotypes] // Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo. 2019. T. 14, № 1. S. 18-39. DOI: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39. EDN BABIAD
3. Kloster N. I., Azarov V. B., Lotkova V. V. Izmenenie kislotsnosti chernozema tipichnogo i formirovanie urozhainosti zernovykh kul'tur pri biologicheskoi sisteme zemledeliya v usloviyakh Tsentral'no-chnoemnoi zony [Changes in typical blackearth acidity and development of grain crop productivity under a biological farming system in the Central Blackearth Zone]// Zemledelie. 2023. № 5. S. 42-45. DOI 10.24412/0044-3913-2023-5-42-45. EDN TGSEGX
4. Loskutov I. G., Blinova E. V., Novikova L. Yu. Izuchenie raznoobraziya alyumoustoichivosti obraztsov ovsa iz kollektsii VIR [The study of the diversity of aluminum resistance of oat samples from the VIR collection] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2024. T. 185, № 1. S. 129-138. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-129-138. EDN CZZPYG
5. Lyubimova A. V., Eremin D. I., Kochneva D. A. Izmenenie pokazatelei geneticheskoi struktury populyatsii sortov ovsa, vozdeliyaemykh v Tyumenskoi oblasti, za 90-letnii period [Changes in the genetic structure of oat varieties cultivated in the Tyumen region over a 90-year period] // Vestnik KrasGAU. 2022. № 12(189). S. 32-41. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41. EDN JVDCCD
6. Rusakov N. V., Kryatov I. A., Pirtakhiya N. V., Tonkopii N. I., Kartseva N. Yu., Starodubov A. G. Obosnovanie klassa opasnosti otkhodov proizvodstva i potrebleniya po fitotoksichnosti: Metodicheskie rekomendatsii [Justification of the hazard class of production and consumption waste based on phytotoxicity: methodological recommendations] // Federal'nyi tsentr gigieny i epidemiologii Rospotrebnadzora. Moskva. 2008. 15 s.
7. Yakovleva O. V. Geneticheskii kontrol' priznaka alyumoustoichivosti u obraztsov yarovogo yachmenya [Genetic control of the aluminum resistance trait of spring barley samples]// Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2025. T. 186, № 1. S. 170-176. DOI 10.30901/2227-8834-2025-1-170-176. EDN PGAGWI
8. Loskutov I. G., Butris V., Kosareva I. A., Blinova E. V., Novikova Yu. L. Aluminum tolerance and micronutrient content in the grain of oat cultivars with different levels of breeding improvement from the VIR collection // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2022. Vol. 183, No. 3. P. 96-110. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-96-110. EDN WCLSLXA
9. Ofoe R. Thomas R. H., Asiedu S. K., Wang-Pruski G., Fofana B., Abbey L. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms // Front. Plant Sci. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3389/fpls.2022.1085998
10. Rodriguez J.M., Estevez V., Bascunan K., Ayala J., Araya M. Commercial oats in gluten-free diet: A persistent risk for celiac patients// Sec. Nutritional Immunology. 2022. Vol. 9. DOI 10.3389/fnut.2022.986282
11. Zuev E. V., Lebedeva T. V., Yakovleva O. V., Kolesova M. A., Brykova A. N., Lysenko N. S., Tyryshkin L. G. Genetic Diversity for Effective Resistance in Wheat Landraces from Ethiopia and Eritrea to Fungal Diseases and Toxic Aluminum Ions // Plants. 2024. Vol. 13, No. 8. DOI: 10.3390/plants13081166. EDN GMBLVY

Поступила: 01.10.25; доработана после рецензирования: 17.03.26; принята к публикации: 30.04.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Ахтямова А.А., Любимова А.В. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Савельева Ю.В. – подготовка опыта, сбор данных, оформление введения.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СОРТА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФНАЦ»

Н. И. Соколенко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории отдаленной гибридизации, ORCID ID: 0009-0001-6741-3403;

Н. А. Галушко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна, ORCID ID: 0000-0002-2693-7024.

ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», ул. Никонова, 49, Михайловск, Шпаковский р-н, Ставропольский край, 356241, Российская Федерация.

Создание новых сортов озимой мягкой пшеницы, сочетающих высокую урожайность и качество зерна с усиленной выраженностью устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среды актуально. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», на черноземе обыкновенном среднесуглинистом среднемощном слабогумусированном в зоне с неустойчивым увлажнением Ставропольского края. Цель исследований – показать селекционную ценность новых сортов озимой мягкой пшеницы и их родительских компонентов. В исследованиях представлены три новых сорта пшеницы – Георгия, Камилла и Кугультинка, внесенных в Госреестр селекционных достижений РФ с 2025 года. В создании сортов использованы адаптивные пшеницы Фируза 40 и Березит – оригинальной селекции, Августа из Ростовской области, Лузановка одесская и Perlina lesostepi № 380 из Украины, Zhong Pin 1629 из Китая. Изучение сортов проводили по Методике государственного сортоиспытания в сравнении со стандартом Гром. В среднем за три года урожайность составила 9,00–9,68 т/га, у стандарта – 8,08 т/га. Наибольшая урожайность отмечена в 2022 году: по сортам Георгия, Камилла и Кугультинка она составила соответственно 11,84; 11,24 и 10,80 т/га, прибавка к стандарту – 1,99; 1,39 и 0,95 т/га. Сорта Георгия и Кугультинка превысили стандарт по озерненности колоса, Камилла – большей массе 1000 зерен. Качество зерна – сильное или ценное. Наибольшее содержание клейковины и белка в зерне отмечено в 2023 году и составило соответственно 31,2–35,6 % и 18,1–20,0 %, у стандарта – 29,4 и 17,3 %. Сорта универсального типа, характеризуются высокой зимостойкостью, засухоустойчивостью и жаростойкостью, проявляют комплексную устойчивость к болезням. Новые сорта и их родительские формы являются ценным исходным материалом в селекции пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт, урожайность, зерно, признак.

Для цитирования: Соколенко Н.И., Галушко Н.А. Сорта озимой пшеницы нового поколения селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, № 3. С. 36–42. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-36-42



WINTER WHEAT VARIETIES OF NEW GENERATION DEVELOPED BY THE FSBSI “NORTH CAUCASUS FARC”

N.I. Sokolenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for distant hybridization, ORCID ID: 0009-0001-6741-3403;

N.A. Galushko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for grain quality, ORCID ID: 0000-0002-2693-7024.

FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre”,
356241 Stavropol Region, Shpakovsky district, Mikhaylovsk, Nikonov Str., 49.

The development of new winter common wheat varieties that combine high productivity and grain quality with enhanced resistance to abiotic and biotic environmental factors is of great urgency. The study was conducted at the experimental plot of the FSBSI “North Caucasus Federal Agrarian Research Center”, on medium-deep, low-humus, medium-loamy ordinary blackearth in a zone of unstable moisture in the Stavropol Territory from 2021 to 2023. The purpose of the current study was to demonstrate the breeding value of new winter common wheat varieties and their parental components. There have been studied three new wheat varieties Georgiya, Kamilla, and Kugultinka, listed in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation in 2025. The adaptive wheat varieties Firuza 40 and Berezit of original breeding, Avgusta from the Rostov Region, Luzanovka Odesskaya, and Perlina lesostepi No. 380 from Ukraine, and Zhong Pin 162 from China, were used in the development of these varieties. The varieties were tested according to the methodology of the State Variety Testing and compared with the standard Grom. The mean productivity over three years was 9.00–9.68 t/ha, compared to 8.08 t/ha of the standard. The highest yields were recorded in 2022, with 11.84, 11.24, and 10.80 t/ha obtained from the varieties Georgiya, Kamilla, and Kugultinka respectively, that exceeded the standard by 1.99, 1.39, and 0.95 t/ha. The varieties Georgiya and Kugultinka exceeded the standard in grain number per ear, while the variety Kamilla exceeded the standard in 1000-grain weight. Grain quality was considered strong or valuable. The highest percentage of gluten and protein in grain were recorded in 2023, reaching 31.2–35.6% and 18.1–20.0%, respectively, compared to the standard of 29.4% and 17.3%. These versatile varieties are characterized by high winter resistance, drought and heat

tolerance, and demonstrate comprehensive disease resistance. These new varieties and their parental forms are valuable initial materials for wheat breeding.

Keywords: winter wheat (*Triticum aestivum* L.), variety, productivity, grain, trait.

Введение. Важную роль в производстве зерна в стране играет озимая мягкая пшеница, получившая наибольшее распространение среди возделываемых культур в южных регионах Российской Федерации. В частности, в Ставропольском крае посевы пшеницы ежегодно занимают около 1 млн. 800 тыс. га или около 60 % пашни, а ее урожайность в среднем за 2021–2023 гг. составляет 3,81 т/га (Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу, 2024).

Биологические особенности озимой мягкой пшеницы позволяют получать хорошие урожаи качественного зерна даже в жестких условиях возделывания, что и привлекает внимание производителей зерна к этой культуре (Морозов и др., 2022). Посевы пшеницы в Ставропольском крае в основном представлены сортами Краснодарской и ставропольской селекции. Оценки сбора зерна по 4-м почвенно-климатическим зонам края показывают различия в урожайности. В среднем по годам наибольшая урожайность отмечается в хозяйствах 3-ей зоны с неустойчивым увлажнением: в 2023 году наивысшая урожайность в Кочубеевском муниципальном округе составила 5,97 т/га, Новоалександровском городском округе – 5,69 т/га. В 1 и 2 зонах края урожайность может снижаться в основном за счет недостаточной влагообеспеченности или влияния других неконтролируемых изменений абиотических и биотических факторов среды.

Опыт показывает, что повышение урожайности пшеницы, улучшение качества зерна возможно при возделывании сортов отличающихся более удачным сочетанием хозяйственно-биологических признаков с обязательным подбором генотипов для разных условий возделывания (Грабовец и Бирюков, 2021; Гончаров и Косолапов, 2021; Галушко и др., 2023). В связи с этим создание новых сортов озимой мягкой пшеницы с усиленной выраженностью устойчивости к абиотическим

и биотическим факторам среды актуально, как для повышения урожайности, так и решения проблемы стабилизации зернового производства.

Цель исследований – показать селекционную ценность новых сортов озимой мягкой пшеницы и их родительских компонентов.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в зоне с неустойчивым увлажнением Ставропольского края (3-я зона) на экспериментальном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» по чистому пару. Почвы опытного участка представлены черноземом обыкновенным среднесуглинистым среднесиловым слабогумусированным с содержанием в пахотном слое до 4,5 % гумуса, 0,22 % общего азота, 19–22 мг/кг подвижного фосфора 200–220 мг/кг калия. Почвенно-климатические условия зоны исследований, да и в целом края не всегда благоприятны для выращивания озимой пшеницы. Негативно сказываются на развитии пшеницы непредсказуемые природные явления: раннеосенние или позднеосенние заморозки, продолжительное отсутствие осадков, приводящее к засухам, зачастую с пыльными бурями и суховеями, или их обильное неравномерное выпадение в течение вегетационного периода.

Анализ погодных условий и показателей урожайности зерна в годы исследований свидетельствует, что лучшие условия для озимой пшеницы сложились в 2021/22 сельскохозяйственном году, как по температурному режиму, так и по влагообеспеченности.

В целом годы исследований были теплее нормы (рис. 1). Среднемесячная температура воздуха по годам соответственно составила: 11,10 °С, 10,20 °С и 10,91 °С, по среднемноголетним данным (1981–2010 гг.) – 9,57 °С. Наибольшее отклонение от нормы отмечено соответственно по годам в октябре (+4,60 °С), в феврале (+5,13 °С) и в марте (+4,27 °С).

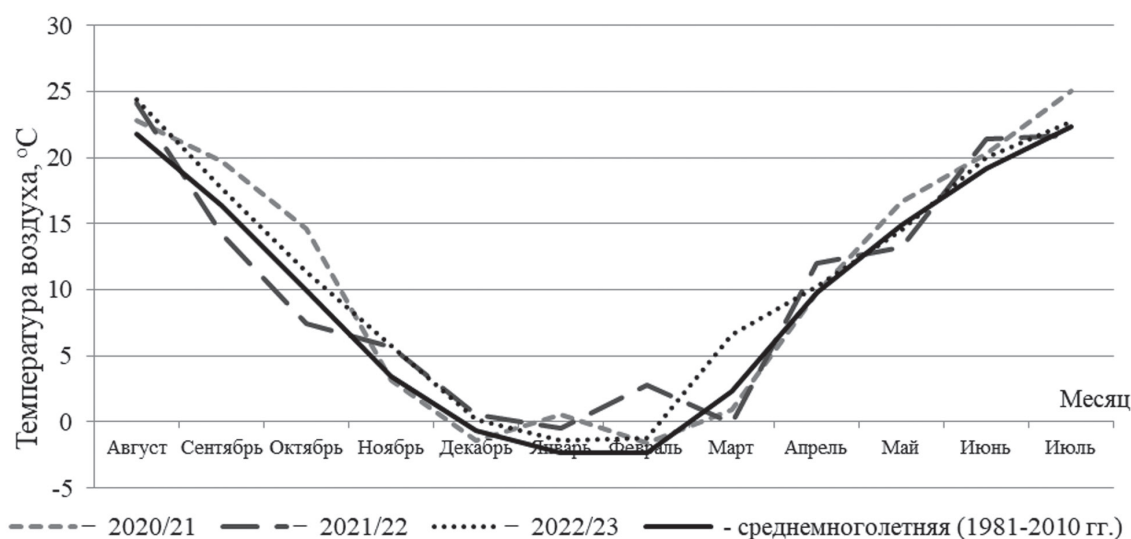


Рис. 1. Температурный режим в годы исследований

Fig. 1. Temperature conditions during the years of study

Выше среднемноголетних показателей (559,4 мм) была и сумма осадков в годы исследований соответственно на 18,3 мм, 134,2 мм и на 106,6 мм (рис. 2). Однако, несмотря на дополнительные осадки, неравномерность распределения их в течение вегетационного периода приводила к разной степени засухам. Продолжительная засуха наблюдалась в 2020/21 сельскохозяйственном году в августе – сентябре. В этот период выпало всего 16,2 мм, против 139,2 мм по норме. Недобор осадков в этом же году наблюдали в декабре: 6,9 мм против 33,2 мм нормы. Повышенная влагообеспеченность наоборот отмечена с января месяца по май месяц, количество осадков значительно превысило норму и составило 357,3 мм против 201,2 мм, что благоприятно

сказалось на дальнейшем развитии пшеницы.

Лучшее распределение осадков в течение вегетационного периода в годы исследований отмечено в 2021/22 сельскохозяйственном году, при этом количество осадков в августе, сентябре, мае, июне и июле превысило норму соответственно по месяцам на 51,5; 49,9; 47,0; 14,6; 15,0 мм.

В 2022/23 сельскохозяйственном году осадки выпадали крайне неравномерно. Недостаток влаги отмечен в осенне-зимний период и весной в апреле. Однако в мае, июне и июле их количество превысило среднемноголетние значения, наибольшее отклонение от нормы отмечено в мае и составило 122 мм (183,7 %), что даже вызвало полегание некоторых посевов и усложнило уборку урожая.

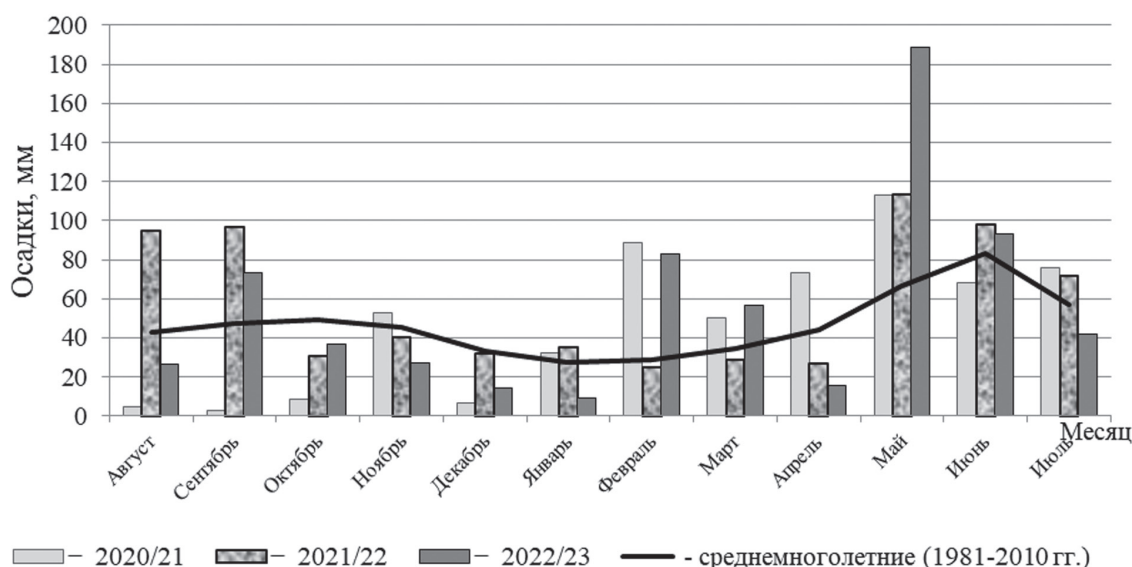


Рис. 2. Влагообеспеченность в годы исследований

Fig. 2. Moisture availability during study

Материалом для исследований послужили три новых сорта озимой мягкой пшеницы Георгия, Камилла и Кугультинка селекции ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», внесенные в Госреестр селекционных достижений РФ с 2025 году. Закладка опытов проводилась по чистому пару сеялкой «Клен» на делянках площадью 10 м² в четырех повторениях, расположение делянок систематическое (Методика государственного сортоиспытания, 2019). Норма высева – 4 млн. всхожих зерен на гектар. В качестве стандарта высевали сорт Гром селекции ФГБНУ Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко. Уборку урожая осуществляли комбайном Wintersteiger.

Качество зерна оценивали по утвержденным ГОСТам: содержание клейковины и белка определяли соответственно по ГОСТ 54478-2011 и ГОСТ 10846-9. Обработка урожайных данных проводилась методом дисперсионного анализа (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. Сорта озимой мягкой пшеницы ставропольской селекции, используемые сегодня в производстве, отличаются высоким потенциалом урожайности (8–12 т/га) и качеством зерна на уровне ценной или сильной пшеницы. Благодаря хозяйственно-биологическим особенностям они возделываются в разных зонах края, на сопредельных территориях и за рубежом.

Высоко оцениваются в Республике Турция пшеницы Багира и Каролина 5, в Республике Азербайджан – Каролина 5 и Березит, в Республике Казахстан – Фируза 40. Некоторые из вышеперечисленных сортов, в частности Фируза 40 и Березит вошли в родословные новых высоко адаптированных, высокопродуктивных с хорошим качеством зерна генотипов озимой пшеницы.

В 2025 году в Госреестр селекционных достижений РФ, с допуском использования в производстве, внесены три новых сорта озимой мягкой пшеницы – Георгия, Камилла и Кугультинка. Сорт Георгия рекомендован для использования в производстве в Северо-Кавказском регионе, Камилла и Кугультинка – в Центрально-Черноземном.

В основе создания этих сортов использован принцип скрещивания экологически и географически отдаленных форм. Принцип широко используется в селекционной практике, и его эффективность отмечают многие исследователи (Кочетков и др., 2021). Новые сорта получены в результате многократного целенаправленного индивидуального отбора из гибридных популяций, полученных от определенных скрещиваний. Георгия выделена из популяции (Фируза 40 × Лузановка одесская), сорт Камилла – из гибридной популяции (Zhong Pin 1629 × Perlina lesostepi № 380) и сорт Кугультинка – из популяции (Березит × Августа).

В создании новых сортов участвуют пшеницы Фируза 40 и Березит – сорта оригинальной селекции, Августа из Ростовской области, Лузановка одесская и Perlina lesostepi № 380 из Украины, Zhong Pin 1629 из Китая.

Использованные в скрещиваниях генотипы характеризуются высокой урожайностью качественного зерна, устойчивостью к абиотическим и биотическим факторам среды, что является основой стабилизации производства зерна. Среди них повышенной засухоустойчивостью и жаростойкостью отличаются пшеницы Фируза 40, Августа, Лузановка одесская. Высокой комплексной устойчивостью к болезням выделяются Березит и Фируза 40. Морозостойкость и зимостойкость выше средних показателей отмечена у сортов Фируза 40, Августа, Лузановка одесская и Perlina lesostepi № 380. Образец из Китая Zhong Pin 1629 удачно сочетает скороспелость с урожайностью. Стабильно высокой урожайностью по годам характеризуется сорт Августа. В наших исследованиях варьирование признака урожайность в коллекционном питомнике у сорта Августа была ниже 10 % и составила 7,74 %, коэффициент гомеостатичности – 63,0, а коэффициент линейной регрессии (b₁) – 0,40. Значение коэффициента линейной регрессии меньше единицы свидетельствует о слабой отзывчивости сорта на улучшение условий возделывания и его можно высевать на среднем и низком агрофоне. Сорт также перспективен в скрещиваниях для создания генотипов с высокой устойчивостью к неконтролируемым факторам среды (Соколенко и Комаров, 2019).

Важно также отметить, что пшеницы Фируза 40 и Лузановка одесская являются родительскими формами не только нового сорта Георгия, но и сорта Секлетия, внесенного в Госреестр селекционных достижений РФ с 2020 года, и нового сорта Марийка, проходящего государственное сортоиспытание.

Сорт Секлетия получил широкое распространение

в Северо-Кавказском и Нижневолжском регионе и является одним из первых сортов нашей селекции, показавших в условиях производства урожайность около 12 т/га (Соколенко и Комаров, 2020).

Сорт Секлетия сочетает высокую урожайность со скороспелостью, формирует высокий урожай зерна за счет продуктивной кустистости, количества зерен в колосе, хорошей выполненности зерна и устойчивости к болезням.

В новом сорте София, который проходит государственное сортоиспытание, в качестве материнской формы в сложной ступенчатой гибридизации использована Лузановка одесская. Сорта Марийка и София отличаются потенциальной урожайностью зерна до 12 т/га, с высокими технологическими и хлебопекарными показателями, содержат клейковины и белка в зерне, соответствующее сильной пшенице. Сорта относятся к разновидности эритроспермум. Марийка, как и Секлетия, является скороспелым и короткостебельным сортом с высотой соломины 85–90 см, в зависимости от условий года проявляет себя ранней или среднеранней пшеницей. София – среднеспелый сорт, по продолжительности вегетационного периода находится в одной группе со стандартом Гром, является полукарликом, высота соломины 80–85 см. Обе пшеницы характеризуются высокой озерненностью колоса, соответственно по сортам 42 и 44 зерна и массой 1000 зерен от 45 граммов и выше. У стандарта Гром количество зерен в колосе в разные годы составило 34–39 штук, масса 1000 зерен меньше 40 граммов. Зерно сортов Марийка и София отличается хорошей выполненностью и высокой натурой более 800 г, у стандарта – 770–790 г.

Сорта, внесенные в 2025 году в Госреестр селекционных достижений РФ, – Георгия, Камилла и Кугультинка, полученные с участием выше описанных генотипов, отличаются высоким потенциалом урожайности зерна 11–12 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность и качество зерна новых сортов озимой мягкой пшеницы, 2021–2023 гг.
Table 1. Productivity and grain quality of new winter common wheat varieties, 2021–2023

Сорт	Урожайность, т/га				Наибольшее содержание в зерне, % (2022/23 г.)	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее за 3 года	клейковина	белок
Георгия	8,39	11,84	8,80	9,68	35,6	20,0
Камилла	7,95	11,24	8,87	9,35	31,2	18,1
Кугультинка	7,67	10,80	8,52	9,00	33,3	19,2
Гром, стандарт	6,88	9,85	7,52	8,08	29,4	17,3
НСР ₀₅	0,34	0,30	0,32	-	-	-

Прибавка урожайности зерна к стандарту Гром у сортов в КСИ в среднем за три года соответственно составила 1,60; 1,27 и 0,92 т/га.

Сорта формируют зерно высокого качества, у Камиллы и Кугультинки по годам соответствующее ценной или сильной пшенице, Георгии – сильной пшенице. Наибольшие значения содержания клейковины и белка в зерне новых сортов отмечено в 2022/23 с/х году и составило соответственно по признакам 31,2–35,6 % и 18,1–20,0 %. Независимо от ранневесенней засухи обильные осадки мая,

июня и июля оказали положительное влияние на формирование и налив зерна.

Анализ данных урожайности сортов по годам свидетельствует о влиянии на этот признак условий, в которых происходит формирование продуктивности. Более благоприятными они были в 2021/22 с/х году, как для новых сортов, так и стандарта. Максимальная урожайность в благоприятном году обеспечена достаточно равномерным выпадением осадков в течение вегетационного периода, особенно в отличие от неблагоприятного 20/2021 года с недобором осадков в осенне-зимние и ранневесенние месяцы. Однако,

несмотря на варьирование урожайности, новые сорта в годы исследований достоверно превосходили стандарт по сбору зерна. По годам прибавка зерна к стандарту в среднем составила 16,3; 14,6 и 16,1 %.

Таким образом, наибольшая прибавка в сборе зерна у новых сортов относительно стандарта получена в менее благоприятные по погодным условиям 2020/21 и 2022/23 с/х годы. Это свидетельствует о более высокой адаптивности изучаемых сортов к меняющимся условиям возделывания.

Оценка адаптивности сортов по показателям, используемым в селекционной практике, проведенная в наших предыдущих многолетних исследованиях, показала средний уровень изменчивости урожайности 19–20 % и гомеостатичности 11,7–13,2 (Галушко Н. А. и др., 2023). Определение экологической пластичности

новых сортов по коэффициенту линейной регрессии b_1 выявило их слабую реакцию на изменение условий выращивания. Поэтому новые сорта могут давать высокую урожайность в любых условиях возделывания. Это подтверждают и невысокие значения дисперсии (S^2d) как показателя экологической стабильности (Соколенко Н. И., Комаров Н. М., 2019). Стандарт Гром в наших исследованиях не уступал новым сортам по всем показателям адаптивности, поэтому преимущество новых сортов по урожайности складывается за счет генетических различий, обеспечивающих особенности формирования морфологических и хозяйственно-биологических признаков (табл. 2). Эти признаки и определяют более высокую урожайность в нестабильных погодно-климатических условиях Северо-Кавказского региона.

Таблица 2. Хозяйственно-биологическая характеристика новых сортов озимой мягкой пшеницы, среднее 2021–2023 гг.

Table 2. Economic and biological characteristics of new varieties of winter common wheat, average 2021–2023

Признак	Сорт			
	Геоorgia	Камилла	Кугультинка	Гром, стандарт
Разновидность	лютесценс	лютесценс	эритроспермум	лютесценс
Группа спелости	среднеспелая	среднеранняя	среднеранняя	среднеспелая
Продолжительность вегетационного периода, сут.	272	267	267	272
Высота растений, см	91,0	95,7	87,0	69,7
Устойчивость к полеганию, балл	5	5	5	5
Продуктивная кустистость, шт.	1,4	1,4	1,4	1,4
Форма колоса	цилиндрическая	цилиндрическая	пирамидальная	пирамидальная
Длина колоса, см	9	9	9	8
Количество зерен в колосе, шт.	45,0	43,0	44,7	38,3
Масса 1000 зерен, г	39,4	40,3	39,6	39,4
Натура, г/л	794	816	799	769
Потенциальная урожайность, т/га	12,0	11,0	11,0	10,0
Зимостойкость, %	80	80	80	80
Критическая температура вымерзания	-19	-19	-19	-19
Жароустойчивость, балл	5	5	5	4
Засухоустойчивость, балл	5	5	5	4

По морфологическим признакам сорт Геоorgia относится к разновидности лютесценс. Имеет белый колос, безостый, цилиндрический, среднеплотный (17–22 колоска на 10 см длины колосового стержня), средней длины (9–10 см). На конце колоса короткие остевидные отростки. Колосковая чешуя в средней трети колоса ланцетная, плечо прямое, средней ширины. Зубец колосковой чешуи очень короткий, прямой, слегка изогнут. Киль хорошо выраженный. Зерно красное, средних размеров, масса 1000 зерен 36,0–41,4 г овально-удлиненной формы, бороздка средняя, основание зерна опушенное.

Сорт среднеспелый, продолжительность вегетационного периода 270–274 суток, среднерослого типа, соломина 88–96 см высотой, полая, устойчивая к полеганию. Потенциальная урожайность зерна – 12,0 т/га. Превышение над стандартом формируется за счет озерненности колоса (40–48 зерен).

Сорт Камилла также относится к разновидности лютесценс. Колос белый, безостый, цилиндрический, среднеплотный (17–22 колоска на 10 см длины колосового стержня), средней длины (9–10 см). На конце колоса короткие остевидные отростки. Колосковая чешуя в средней трети колоса овальная, плечо прямое, средней ширины. Зубец колосковой чешуи короткий, слегка изогнут. Киль хорошо выраженный. Зерно красное, среднее по размерам, масса 1000 зерен 40,0–45,4 г овально-удлиненной формы, бороздка средняя, основание зерна опушенное.

Сорт среднеранний, продолжительность вегетационного периода 266–268 суток, среднерослого типа, соломина 90–105 см высотой, полая, устойчивая к полеганию. Сорт высокоурожайный, потенциальная урожайность зерна – 11 т/га. Превышение над стандартом формируется за счет более высокой массы 1000 зерен и натуры.

Сорт Кугультинка относится к разновидности эритроспермум. Колос белый, остистый, пирамидальный, среднеплотный (17–22 колоска на 10 см длины колосового стержня), средней длины (9–10 см). Ости длинные, расходящиеся, грубые. Колосковая чешуя в средней трети колоса ланцетная, плечо скошенное, узкое. Зубец колосковой чешуи средней длины, прямой, слегка изогнут. Киль хорошо выраженный. Зерно красное, среднее по размерам, масса 1000 зерен 36,6–42,2 г овально-удлиненной формы, бороздка средняя, основание зерна опушенное.

Сорт среднеранний, продолжительность вегетационного периода 266–268 суток, среднерослого типа, соломина 85–91 см высотой, полая, устойчивая к полеганию. Сорт высокоурожайный, потенциальная

урожайность зерна – 11 т/га. Превышение над стандартом формируется за счет озерненности колоса (35,0–50,0 зерен).

Геоorgia, Камилла и Кугультинка относятся к сортам степной, южной (Северо-Кавказской) экологической группе. Отличительными особенностями новых сортов является высокая урожайность, которая обеспечивается большей озерненностью колоса, в среднем – 43–45 шт., у стандарта – 38,3 шт. Характеризуются средней морозостойкостью, высокой зимостойкостью, засухоустойчивостью и жаростойкостью. Они устойчивы к полеганию, не осыпаются и не прорастают на корню. Сорта проявляют высокую устойчивость к болезням, максимальное их проявление в годы изучения отмечено во влажный 2022/2023 с/х год (табл. 3).

Таблица 3. Поражение болезнями новых сортов озимой мягкой пшеницы, 2021–2023 гг., %
Table 3. Diseases of new winter common wheat varieties, 2021–2023, %

Признак	Сорт			
	Геоorgia	Камилла	Кугультинка	Гром, стандарт
Бурая ржавчина	0-5	0-5	0-5	0-10
Желтая ржавчина	0	0	0	0-10
Стеблевая ржавчина	0	0	0	0-5
Мучнистая роса	0	0	0	0-5
Пыльная головня	0	0	0	0
Пиренофороз	0-3	0-3	0-3	3-10
Септориоз	0-5	0-5	0-5	5-15
Фузариоз колоса	0-5	0-5	0-5	0-5
Вирус желтой карликовости ячменя	0	0	0	15-20

Степень поражения сортов бурой ржавчиной, септориозом листьев и фузариозом колоса не превысила 5 %, пиренофорозом – 3 %. Поражения другими болезнями, в частности желтой и стеблевой ржавчиной, мучнистой росой, пыльной головней и вирусом желтой карликовости ячменя не наблюдалось. Стандарт Гром уступал новым сортам по устойчивости к болезням: поражение бурой, желтой ржавчиной, пиренофорозом достигало 10 %, септориозом – 15 %, вирусом желтой карликовости ячменя до 20 %, отмечена мучнистая роса – 5 %, стеблевая ржавчина – 5 %. На растениях стандарта и новых сортов не отмечена пыльная головня, степень поражения фузариозом колоса была одинаковой до 5 %.

Особую опасность для пшеницы в регионе из грибных болезней представляет бурая и желтая ржавчина, пиренофороз, септориоз, фузариоз колоса, они имеют наибольшее распространение и степень поражения растений. Из вирусных болезней практически ежегодно, начиная с 2013 года, на растениях пшеницы отмечается вирус желтой карликовости ячменя. В 2022 году на отдельных коллекционных образцах пшеницы отмечен вирус полосатой мозаики пшеницы, степень поражения достигала 15 %. Поражения новых сортов и стандарта этим вирусом не наблюдалось.

Таким образом, полученные результаты исследований свидетельствуют об удачном подборе исходного материала для создания сортов Геоorgia, Камилла и Кугультинка. Самой эффективной оказалась комбинация скрещиваний – Фируза 40 × Лузановка одесская, из которой выделен не только сорт Геоorgia, но

и сорт Секлетия, внесенный в Госреестр селекционных достижений РФ с 2020 года, и сорт Марийка, находящаяся в государственном сортоиспытании.

Выводы.

Новые сорта озимой мягкой пшеницы Геоorgia, Камилла и Кугультинка характеризуются высоким потенциалом урожайности – 11–12 т/га и качеством зерна на уровне сильной или ценной пшеницы, являются перспективными для возделывания в производстве. Прибавка урожайности к стандарту Гром у сортов Геоorgia и Кугультинка обеспечивается за счет лучшей озерненности колоса, у Камиллы – более высокой массы 1000 зерен и натуре. Вклад в урожайность и качество зерна сортов вносит и высокая устойчивость к абиотическим и биотическим факторам среды.

Благодаря комплексу ценных признаков новые сорта и их родительские формы представляют интерес как исходный материал в селекции озимой мягкой пшеницы. Направления селекции пшеницы на увеличение количества зерен в колосе, повышение массы 1000 зерен, устойчивости к абиотическим и биотическим факторам среды являются перспективными в условиях Северо-Кавказского региона.

Финансирование. Работа выполнена при проведении исследований, финансируемых из средств федерального бюджета в рамках поисковой темы: «Создать высокопродуктивные с высоким потенциалом адаптации сорта озимой пшеницы и технологии их возделывания в Северо-Кавказском регионе», FNMU-2025-0025, срок реализации – 2025-2027 гг.

Библиографический список

1. Галушко Н. А., Соколенко Н. И., Батагова Е. А. Адаптивные особенности новых сортов мягкой озимой пшеницы селекции ФГБНУ Северо-Кавказский ФНАЦ // Земледелие. 2023. № 6. С. 47–50. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-6-1-48
2. 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
3. Грабовец А. И., Бирюков К. Н. Роль сорта в стабилизации производства зерна в широком диапазоне агроклиматических факторов // Земледелие. 2021. № 5. С. 40–44. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-0-1-48
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Пятое издание, переработанное и дополненное. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Кочетков А. А., Мирская Г. В., Синявина Н. Г., Егорова К. В. Трансгрессивная селекция: методология ускоренного получения новых форм растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков // Российская сельскохозяйственная наука. 2021 № 6. С. 29–37. DOI: 10.31857/S2500262721060065
6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск I. Общая часть. М., 2019. 329 с.
7. Морозов Н. А., Ходжаева Н. А., Хрипунов А. И., Община Е. Н. Экологическая пластичность урожайности озимой пшеницы при возделывании по различным предшественникам в засушливых условиях Восточного Предкавказья. Аграрная наука. 2022. № 10. С. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-106-110
8. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Ставропольскому краю за 2023 год. Ставрополь: Управление Федеральной службы государственной статистики по Северо-Кавказскому федеральному округу, 2024. 208 с.
9. Соколенко Н. И., Комаров Н. М. Адаптивные признаки сортообразцов озимой пшеницы мировой коллекции // Таврический вестник аграрной науки, 2019. № 4 (20). С. 111–116.
10. Соколенко Н. И., Комаров Н. М. Перспективный сорт мягкой озимой пшеницы Секлетия для Северо-Кавказского региона // Известия Оренбургского ГАУ. 2020. № 4 (84). С. 38–42.

References

1. Galushko N. A., Sokolenko N. I., Batagova E. A. Adaptivnye osobennosti novykh sortov myagkoi ozimoi pshenitsy selektsii FGBNU Severo-Kavkazskii FNATs [Adaptive traits of new winter common wheat varieties developed by the FSBSI "North Caucasus FARC"] // Zemledelie. 2023. № 6. S. 47–50. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-6-1-48
2. Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Seleksiya rastenii – osnova prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii [Plant breeding as the foundation of Russia's food security] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 4. S. 361–366. DOI: 10.18699/VJ21.039
3. Grabovets A. I., Biryukov K. N. Rol' sorta v stabilizatsii proizvodstva zerna v shirokom diapazone agroklimatecheskikh faktorov [The role of varieties in stabilizing grain production in a wide range of agroclimatic factors] // Zemledelie. 2021. № 5. S. 40–44. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-0-1-48
4. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with fundamentals of statistical processing of the study results)]. Pyatoe izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
5. Kochetkov A. A., Mirskaya G. V., Sinyavina N. G., Egorova K. V. Transgressivnaya selektsiya: metodologiya uskorenogo polucheniya novykh form rastenii s prognoziруемым комплексом khozyaistvenno tsennykh priznakov [Transgressive breeding: a methodology for accelerated development of new plant forms with a predictable set of economically valuable traits] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2021 № 6. S. 29–37. DOI: 10.31857/S2500262721060065
6. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Vypusk I. Obshchaya chast'. M., 2019. 329 s.
7. Morozov N. A., Khodzhaeva N. A., Khripunov A. I., Obshchiya E. N. Ekologicheskaya plastichnost' urozhainosti ozimoi pshenitsy pri vozdeleyvaniy po razlichnym predshestvennikam v zasushlivykh usloviyakh Vostochnogo Predkavkaz'ya [Ecological flexibility of winter wheat productivity when grown after various forecrops in the arid conditions of the Eastern Ciscaucasia] // Agrarnaya nauka. 2022. № 10. S. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-106-110
8. Posevnye ploshchadi, valovye sbory i urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur po Stavropol'skomu krayu za 2023 god [Sown areas, gross yields, and productivity of agricultural crops in the Stavropol territory in 2023]. Stavropol': Upravlenie Federal'noi sluzhby gosudarstvennoi statistiki po Severo-Kavkazskomu federal'nomu okrugu, 2024. 208 s.
9. Sokolenko N. I., Komarov N. M. Adaptivnye priznaki sortoobraztsov ozimoi pshenitsy mirovoi kollektsii [Adaptive traits of winter wheat varieties from the world collection] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki, 2019. № 4 (20). S. 111–116.
10. Sokolenko N. I., Komarov N. M. Perspektivnyi sort myagkoi ozimoi pshenitsy Sekletiya dlya Severo-Kavkazskogo regiona [Promising winter common wheat variety Sekletiya for the North Caucasus region] // Izvestiya Orenburgskogo GAU. 2020. № 4 (84). S. 38–42.

Поступила: 01.07.25; доработана после рецензирования: 02.10.25; принята к публикации: 13.11.25.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Соколенко Н. И. – концептуализация исследования, выполнение полевых и лабораторных опытов, сбор данных, их анализ и интерпретация, подготовка рукописи. Галушко Н. А. – выполнение лабораторных опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НОВЫЙ СОРТ ГОРОХА ПОСЕВНОГО МАЛАХИТ

Л.И. Лихачева, старший научный сотрудник, e-mail: selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-9161-1496;
А.В. Москалев, научный сотрудник, e-mail: almos10@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5559-2635;
Н.В. Лихачёва, научный сотрудник, e-mail: nata.lihachiova2012@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5681-2487;
Н.Н. Матолинец, заведующий лабораторией зернобобовых культур, канд. с.-х. наук, e-mail: matolinet-s-nikolay@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-1074-8792.
ФГБНУ «УрФАНИЦ УрО РАН» 620142, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Белинского, д.112-а.

В Красноуфимском селекционном центре ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, более 15 лет ведется селекционная работа по созданию и изучению нового сорта гороха посевного под названием Малахит.

Основная цель данной работы заключалась в разработке сорта, обладающего устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды, болезням и вредителям, пригодностью к механизированной уборке прямым комбайнированием, устойчивостью к осыпанию семян.

Сорт гороха Малахит представляет собой среднеспелое растение с длинной вегетационного периода 78 дней (от 68 до 90 дней) и высотой стебля от 54 до 92 сантиметров. Масса 1000 семян варьирует в диапазоне от 164 до 195 г, при среднем значении 180 г. Содержание белка в семенах колеблется от 19 до 21%. Малахит обладает высоким потенциалом продуктивности (до 3,6 т/га) в среднем превосходит стандарт Красноуфимский 93 на 0,27 т/га, в благоприятные годы даёт прибавку до 40% к стандарту. Устойчив к аскохитозу, корневым гнилям и гороховой плодовой гнили. Малахит на одном растении формирует от 4 до 11 бобов, в каждом из которых содержится 4-6 зёрен. За счет более крупных семян образует большую массу семян с растения на 0,2 г. По устойчивости к болезням сорт Малахит на уровне стандарта, но меньше повреждается плодовой гнилью и обладает большей устойчивостью к полеганию. Сорт Малахит обладает высокой селекционной ценностью и представляет собой перспективный генетический материал для создания новых сортов. В 2025 году он был включён в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию в Волго-Вятском (4) регионе.

Ключевые слова: сорт, селекция, горох посевной (*Pisum sativum* L.), урожайность, адаптивность, сортоиспытание.

Для цитирования: Лихачева Л.И., Москалев А.В., Лихачева Н.В., Матолинец Н.Н. Новый сорт гороха посевного Малахит // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, №3, С. 43-49. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-43-49.



NEW PEA VARIETY MALAKHIT

L.I. Likhacheva, senior researcher, e-mail: selektsiya@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-9161-1496;
A.V. Moskaev, researcher, e-mail: almos10@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5559-2635;
N.V. Likhacheva, researcher, e-mail: nata.lihachiova2012@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5681-2487;
N.N. Matolinet, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for grain legumes, e-mail: matolinet-s-nikolay@mail.ru, ORCID ID: 0009-0003-1074-8792.
FSBSI «UrFASRC UrB of RAS»,
620142, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Belinsky Str., 112-A.

The Krasnoufimsk Breeding Center of the FSBSI UrFASRC, UrB of RAS has been developing and studying a new pea variety Malakhit for over 15 years. The main purpose of the current work was to develop a variety that is resistant to adverse environmental factors, diseases, and pests, suitable for mechanized harvesting by direct combining, and resistant to seed shattering. The pea variety Malakhit is a middle-season plant with a 78-day vegetation period (ranging from 68 to 90 days) and a stem height of 54 to 92 centimeters. The 1000-seed weight ranges from 164 to 195 g, with an average of 180 g. The protein percentage in seeds ranges from 19 to 21%. The variety Malakhit has high productivity potential (up to 3.6 t/ha), surpassing the standard variety Krasnoufimsky 93 by 0.27 t/ha, and in favorable years it yields up to 40% more than the standard. The variety is resistant to ascochyta leaf spot, root rot, and pea moth. The variety Malakhit produces 4 to 11 pods per plant, with 4-6 grains each. Due to its larger seeds, it produces 0.2 g more seeds per plant than the standard. Disease resistance of Malakhit is similar to the standard but is less susceptible to codling moth damage and has greater lodging resistance. The variety Malakhit has high breeding value and represents promising genetic material for the development of new varieties. In 2025, the variety was included in the State Register of Breeding Achievements and approved for use in the Volga-Vyatka (4) region.

Keywords: variety, breeding, peas (*Pisum sativum* L.), productivity, adaptability, variety testing.

Введение. Горох посевной (*Pisum sativum* L.), одна из важнейших зернобобовых культур, играющая значительную роль в агроэкосистемах Среднего Урала. По данным на 2025 год лидером по возделыванию гороха является Ставропольский край, в котором под эту культуру было выделено 236,2 тыс. га, (10,9% от всех площадей). Далее идёт Ростовская область с площадью 187,5 тыс. га (8,7%), Краснодарский край – 155,1 тыс. га (7,2%) и Алтайский край – 146,4 тыс. га (6,8%). В Свердловской области посевные площади гороха в 2025 году составили 14,7 тыс. га, что соответствует 0,7% общей площади возделывания в Российской Федерации (Росстат, 2025).

Горох отличается коротким вегетационным периодом и высокой устойчивостью к весенним заморозкам (Зотиков В. И., 2014). Применяется в пищевой промышленности, служит сырьём для заготовки сенажа, зелёного корма, силоса, зернофуража и травяной муки (Лысенко А.А., 2022). При возделывании гороха улучшается структура почвы и повышается урожайность последующих культур в севообороте, что в итоге снижает негативное воздействие агроэкосистемы на почву и повышает экономическую эффективность севооборота (Пакуль А.Л. и др., 2022).

Ключевым инструментом для интенсификации производства гороха является селекционная работа, в результате которой повышается урожайность, увеличивается валовой сбор и улучшается биохимический состав зерна. Для этого требуется постоянная разработка инновационных сортов гороха с высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды (Неустроев А. Н., и Бардеев И. Ф., 2020; Лихачева Л. И. и др., 2025), учитывая генетическое разнообразие исходных форм и ключевые агрономические характеристики, такие как продолжительность вегетационного периода, урожайность, биоморфологические особенности развития растений (Филатова И. А., 2020). Данный подход оптимизирует селекционный процесс, ускоряет достижение поставленных целей и повышает его эффективность и результативность.

Цель исследования заключалась в разработке сорта, обладающего устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды, болезням и вредителям, пригодностью к механизированной уборке прямым комбайнированием, устойчивостью к осыпанию семян.

Материалы и методы исследований. В период

с 2010 по 2021 годы в Красноуфимском селекционном центре ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН была проведена селекционная работа по созданию нового сорта гороха. Исследования осуществлялись в соответствии с методикой государственного сортоиспытания. Основные этапы исследования включали: изучение исходного материала, отбор перспективных образцов для гибридизации, создание новых селекционных линий, определение и выделение лучших образцов для последующей передачи на Государственное сортоиспытание.

Почвы серые лесные суглинистые. Предшествующая культура – пшеница. Органолептические тесты проводились в соответствии с ГОСТ 31986-2012. Содержание протеина определялась по методу Кьельдаля (ГОСТ 10846-91). разваримость зерна по методу А.В. Соснина (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур Технол. оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур/Гос. комис. по сортоиспытанию с.-х. культур; (Под общ. ред. М.А. Федина). М. : Б. и., 1988. 121 с.). Математическая обработка данных проводилась по методике Б.А. Доспехова (Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Изд. 6-е, доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.). Генетическая пластичность рассчитывалась по формулам А.А. Rossille, J. Hamblin и методике А.А. Гончаренко (Гончаренко А.А., 2005). Гомеостатичность и селекционная ценность рассчитывалась методом В.В. Хангильдина (Хангильдин В. В. и Бирюков С. В., 1983). Пластичность рассчитывалась по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell, адаптированной В.З. Прокудиным и Л.М. Лопатиной (Пакудин В.З. и Лопатина Л.М., 1984).

В наиболее важный для гороха период от всходов до молочной спелости наблюдались значительные колебания метеорологических условий, включая как засушливые, так и переувлажнённые периоды. Группа лет с наиболее благоприятными погодными условиями для роста и развития растений включала 2019, 2020 и 2023 годы, характеризующиеся тёплым температурным режимом и количеством осадков ниже среднеемноголетних показателей (рис. 1). Годы 2022 и 2024 характеризовались высоким уровнем осадков с температурой воздуха ниже среднеемноголетних показателей, в 2021 году наблюдалась сильная засуха с температурой на 3–4°C выше среднеемноголетних показателей.

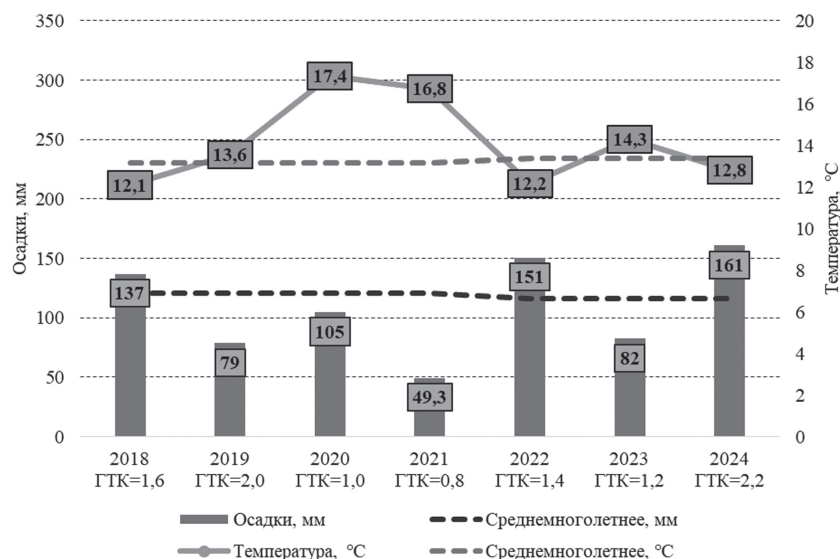


Рис. 1. Погодные условия за годы испытания в период «всходы-молочная спелость»
Fig. 1. Weather conditions during the period 'sprouting-milk ripeness'

Результаты и их обсуждение. Сорт Малахит (разновидность – экадукоглякум) представляет собой длинностебельный листочковый горох, характеризующийся светло-зелёными семенами и высокой урожайностью. Происхождение: Марафон (материнская форма) и (Лу-139-2000 × Марафон) (отцовская форма).

В 2022 году сорт Малахит был передан на Государственное сортоиспытание. В 2025 году он был официально зарегистрирован в Государственном реестре селекционных достижений, разрешённых к использованию в Волго-Вятском регионе (4) (рис. 2). На сорт был получен патент №14264 от 25 июля 2025 года.



Рис. 2. Сорт гороха посевного Малахит.
Fig. 2. Pea variety Malakhit



Рис. 3. Растение гороха сорта Малахит
Fig. 3. Pea plant Malakhit

Этапы проведения селекционной работы по созданию сорта Малахит:

- 1) год скрещивания 2010;
- 2) год выделения элитного растения 2013;
- 3) годы малого станционного испытания 2016-2017;
- 4) годы конкурсного станционного испытания 2018-2021;
- 5) годы и место межстанционного конкурсного испытания 2018-2024.

Стебель зелёный, гладкий, высотой 54–92 см, с 12–17 междоузлиями (9–12 до первого соцветия). Листья стандартные для гороха, прилистники полусердцевидные, зубчатые, зелёные, без пятен. Цветки белые, среднего размера. Бобы лущильные, с развитым пергаментным слоем, на растении 4–6 бобов (максимум 11) с 4–6 зёрнами (рис. 3, 4, 5). Семена шаровидные с остатком семяножки, отличаются светло-зелёной окраской. Масса 1000 семян – 164–195 г (в среднем 180 г). Содержание белка в зерне – 19–21%. Разваримость хорошая, высокая питательная ценность и отличные вкусовые качества. Максимальная урожайность – 3,6 т/га (2019 год). Среднеспелый сорт с периодом вегетации 68–81 день. Устойчив к аскохитозу и корневой гнили, что повышает адаптивность к неблагоприятным условиям.

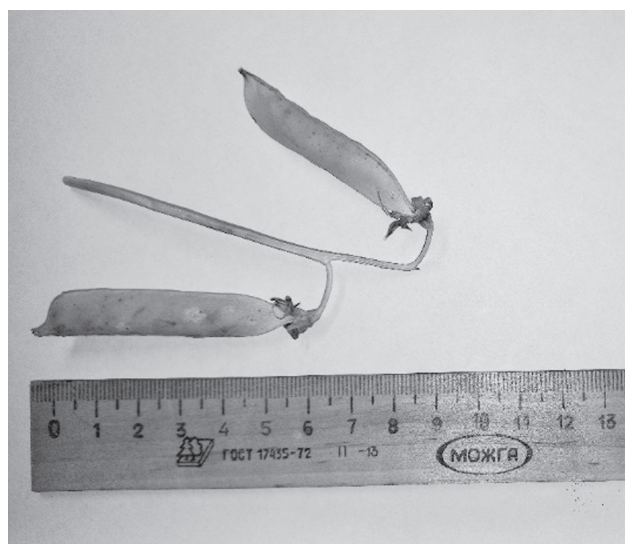


Рис. 4. Бобы гороха сорта Малахит
Fig. 4. Pea pods Malakhit

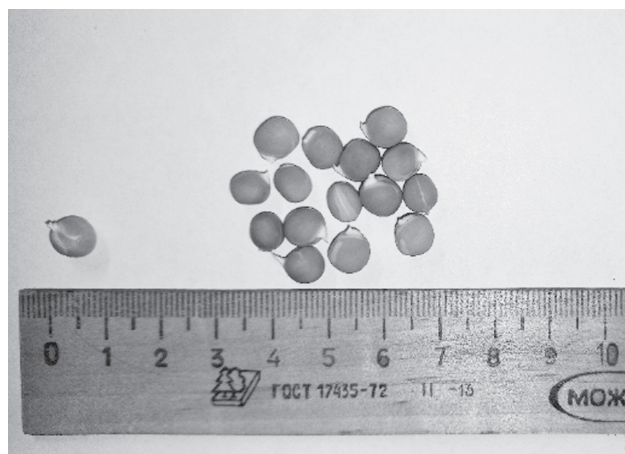


Рис. 5. Семена гороха сорта Малахит
Fig. 5. Pea seeds Malakhit

По итогам исследования за период с 2018 по 2024 года сорт Малахит дал в среднюю прибавку на 14,9% к стандарту (табл. 1). Наиболее высокие урожаи были получены в 2019, 2020 и 2023 годах в благоприятных погодных условиях при уровне осадков в период «всходы-молочная спелость» в пределах или ниже

среднемноголетних показателей. В неблагоприятные года 2021 (засуха), 2024 (избыток влаги) сорт Малахит показал урожайность выше стандарта на 18,0% и 33,3% соответственно. В дождливые и холодные 2018 и 2022 годы сорт Малахит показал урожайность на уровне стандарта.

Таблица 1. Урожайность сорта Малахит за период изучения, т/га (2018–2024 гг.)
Table 1. Productivity of the variety Malakhit during the period of study, t/ha (2018–2024)

Сорта	Урожайность, т/га							
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Красноуфимский 93, стандарт	1,96	2,58	2,90	1,00	1,09	2,69	1,45	1,81
Малахит	2,13	3,62	3,30	1,18	1,05	2,68	1,60	2,08
± к стандарту	0,17	1,04	0,40	0,18	-0,04	-0,01	0,15	0,27
± к стандарту, %	8,7%	40,3%	13,8%	18,0%	-3,7%	-0,4%	33,3%	14,9%
lj индекс среды	0,10	1,16	1,16	-0,86	-0,88	0,74	-1,42	–
НСР₀₅	0,23	0,30	0,34	0,12	0,13	0,32	0,08	0,20

Продолжительность вегетационного периода у сорта Малахит на уровне стандарта (68–92 дней) (табл. 2). Растение сорта Малахит образует меньше бобов и семян на растении, чем стандартный сорт, но за счет более крупных семян образует большую массу семян с растения на 0,2 г. Масса 1000 семян

сорта Малахит превышает аналогичный показатель стандарта Красноуфимский 93 на 30 г. Это обусловлено тем, что в составе семян сорта Малахит наблюдается увеличение доли крупных семян (размер более 7 мм) на 18% и уменьшение доли мелких семян (размер менее 5 мм) на 17%, по сравнению со стандартным сортом.

Таблица 2. Основные показатели элементов продуктивности и качества зерна гороха, (среднее 2018–2024 гг.)
Table 2. Key indicators of pea productivity and grain quality (mean in 2018–2024)

Показатель	Красноуфимский 93, стандарт	Малахит	± к стандарту
Вегетационный период, дни (мин.-макс.)	78 68-89	78 68-90	0
Число бобов на растении, шт. (мин.-макс.)	4,3 2,3-6,2	3,4 2,2-5,1	-0,9
Число семян на растении, шт. (мин.-макс.)	13,1 5,8-21,9	12,0 6,60-18,8	-1,1
Масса семян с растения, г (мин.-макс.)	2,0 0,7-3,4	2,2 1,1-3,5	0,2
Масса 1000 семян, г (мин.-макс.)	150 121-166	180 164-195	30
Длина стебля, см (мин.-макс.)	67 43-115	65 47-92	-2
Выравненность семян по фракциям, %	5 мм	24	-17
	6 мм	68	-1
	7 мм	8	18
Содержание белка, %	21,9 18,9-25,9	22,0 19,7-24,1	0,1
Устойчивость: к полеганию, балл	2,8	3,5	0,7
Поражение аскохитозом, %	10,2	12,2	2,0
Поражение корневыми гнилями, %	38,8	38,7	-0,1
Повреждение гороховой плодожоркой, %	8,1	6,1	-2,0
Урожай белка с гектара, кг/га	386 87-751	423 100-872	37
Разваримость, мин	105	95	+10
Вкусовые качества, балл	4,5	4,8	+0,3

Сорт Малахит по содержанию белка на уровне стандарта Красноуфимский 93 (+0,1%), но из-за более высокой урожайности обеспечивает больший выход белка с гектара. По устойчивости к болезням сорт Малахит соответствует уровню стандарта, но меньше подвержен повреждениям от плодовой гнили и обладает большей устойчивостью к полеганию.

Сорта растений формируются под воздействием комплексного взаимодействия генетических факторов и условий окружающей среды. Продуктивность сорта определяется особыми условиями, что подчёркивает значимость учёта экологических факторов при его разработке и селекции. Для оценки адаптивности необходим анализ урожайности, учитывая генетическую гибкость, гомеостатичность, селекционную ценность и

способность к изменениям (Семенова Е. В. и др., 2022; Кожухова Е. В. и др. 2021).

Результаты анализа адаптивности сорта Малахит выявили его высокую генетическую гибкость (2,11) по сравнению со стандартным сортом (1,68) (табл. 3). Новый сорт показал улучшенную адаптивную способность как по общей адаптивной способности (ОАС) — 0,14, так и по специфической адаптивной способности (САС) — 1,18. Уровень отзывчивости на условия окружающей среды, выраженный через показатель пластичности (bi), составил 1,10, что указывает на средний уровень адаптивности. Сорт Малахит обладает более высокой селекционной ценностью (СЦГ– 1,01), что подтверждает его потенциал для использования в селекции.

Таблица 3. Параметры адаптивности сортов гороха по урожайности (2018–2024 гг.)
Table 3. Adaptability parameters of pea varieties according to productivity (2018–2024)

Сорт	Красноуфимский 93, стандарт	Малахит
Стрессоустойчивость (выше лучше)	-2,45	-3,02
Генетическая гибкость (выше лучше)	1,68	2,11
Коэффициент вариации (меньше лучше)	49%	52%
Гомеостатичность (выше лучше)	1,50	1,30
Пластичность	0,90	1,10
Стабильность	0,03	0,03
ОАС	-0,14	0,14
САС	0,97	1,18
СЦГ	0,93	1,01

В результате проведенного ранжирования новый сорт гороха Малахит показал более высокие показатели

адаптивности по сравнению со стандартным сортом Красноуфимский 93 (табл. 4).

Таблица 4. Ранжирование показателей по адаптивности. (2018–2024 гг.)
Table 4. Ranking of adaptability indicators (2018–2024)

Показатели адаптивности	Красноуфимский 93, стандарт	Малахит
Общий ранг адаптивности	2	1
Средняя урожайность	2	1
Стрессоустойчивость (выше лучше)	1	2
Генетическая гибкость (выше лучше)	2	1
Коэффициент вариации (меньше лучше)	1	2
Гомеостатичность (выше лучше)	1	2
Пластичность	2	1
Стабильность	1	2
ОАС	2	1
САС	2	1
СЦГ	2	1

Выводы. В результате пятнадцатилетней работы был создан и изучен сорт гороха посевного Малахит для использования на продовольственные и кормовые цели. Сорт характеризуется длинным стеблем (60–80 см) и листочковым типом куста. Семена отличаются светло-зелёным цветом, не осыпаются, что упрощает сбор урожая. Малахит отличается от других листочковых тем, что бобы находятся на верхней части стебля, не склоняющейся к земле, что позволяет проводить уборку прямым комбайнированием.

Малахит обладает высоким потенциалом продук-

тивности, превосходя стандартные показатели на 0,27 т/га. Сорт устойчив к заболеваниям, таким как аскохитоз и корневые гнили, на уровне стандартных сортов. Менее подвержен повреждениям гороховой плодовой гнилью по сравнению с Красноуфимским 93.

Сорт Малахит обладает высокой селекционной ценностью и представляет собой перспективный генетический материал для создания новых сортов.

В 2025 году сорт Малахит был включён в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию в Волго-Вятском (4) регионе.

Был получен патент №14264 от 25 июля 2025 года.

Финансирование. Работа проводилась в рамках научно-исследовательской тематики: «Реализация

мероприятий по развитию селекционно-семеноводческого центра в сфере зерновых культур и картофеля». (№ 075-15-2025-176).

Библиографический список

1. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестн. РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.
2. Зотиков В. И., Бударина Г.А., Голопатов М.Т. Опасные болезни гороха и особенности технологии возделывания культуры в условиях центрального и южного федеральных округов // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 3(11). С. 25-31.
3. Кожухова Е. В., Орешникова О. П., Новиков В. В. Анализ элементов продуктивности коллекционных образцов гороха // Земледелие. 2021. № 7. С. 44–48. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-44-48
4. Лысенко А.А. Урожайность и качество возделываемых в Приазовской зоне Ростовской области сортов зернового гороха в зависимости от гидротермических факторов // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 2. С. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-70-76
5. Неустроев А. Н., Бардеев И. Ф. Оценка коллекции усатых сортов гороха на технологичность в Якутии // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. № 4 (56). С. 41-47. DOI: 10.22450/1999-6837-2020-4-41-47
6. 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
7. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. №4. С. 109–113.
8. Пакуль А.Л., Ямщиков М.А., Пакуль В.Н. Эффективность различных систем обработки почвы и прямого посева на черноземе выщелоченном в условиях Западной Сибири // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 4-1 (118). С. 171–175. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.027
9. Семенова Е. В., Бойко А. П., Новикова Л. Ю. и др. Фенотипические признаки, определяющие дифференциацию генофонда гороха (*Pisum sativum* L.) по направлениям использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 7. С. 599–608. DOI: 10.18699/VJGB-22-74
10. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения 28.11.2025 г.)
11. Филатова И. А. Факториальные составляющие продуктивности гороха с усатым и листочковым морфотипом // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 36-39. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-36-39
12. Хангильдин В. В., Бирюков С. В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях // Генетико-цитологические аспекты в селекции с.-х. растений. 1984. № 1. С. 67-76.

References

1. Goncharenko A.A. Ob adaptivnosti i ekologicheskoy ustojchivosti sortov zernovykh kul'tur [On the adaptability and environmental stability of grain crop varieties] // Vestn. RASKHN. 2005. № 6. S. 49–53.
2. Zotikov V. I., Budarina G.A., Golopyatov M.T. Opasnye bolezni goroha i osobennosti tekhnologii vzdelyvaniya kul'tury v usloviyah central'nogo i yuzhnogo federal'nykh okrugov [Dangerous pea diseases and cultivation techniques in the Central and Southern Federal Districts] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2014. № 3(11). S. 25-31.
3. Kozhuhova E. V., Oreshnikova O. P., Novikov V. V. Analiz elementov produktivnosti kollektsionnykh obraztsov goroha [Analysis of productivity elements of collection pea samples] // Zemledelie. 2021. № 7. S. 44–48. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-7-44-48
4. Lysenko A.A. Urozhajnost' i kachestvo vzdelyvaemykh v Priazovskoy zone Rostovskoy oblasti sortov zernovogo goroha v zavisimosti ot gidrotermicheskikh faktorov [Productivity and quality of grain pea varieties cultivated in the Azov zone of the Rostov region depending on hydrothermal factors] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2022. T. 14, № 2. S. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-70-76
5. Neustroev A. N., Bardeev I. F. Ocenka kollektsii usatykh sortov goroha na tekhnologichnost' v YAKutii [Estimation of a collection of leafless pea varieties for technological adaptability in Yakutia] // Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik. 2020. № 4 (56). S. 41-47. DOI: 10.22450/1999-6837-2020-4-41-47
6. Lihacheva L.I., Moskaev A.V., Lihacheva N.V., Matolincev N.N. Novyy determinantnyy sort goroha posevnogo Meteor [New determinate pea variety Meteor] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2025. T. 17, № 1. S. 33-39. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-96-1-33-39
7. Pakudin V.Z., Lopatina L.M. Ocenka ekologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti sortov sel'skohozyajstvennykh kul'tur [Assessment of the environmental adaptability and stability of agricultural crop varieties] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 1984. №4. S. 109–113.
8. Pakul' A.L., YAmshchikov M.A., Pakul' V.N. Effektivnost' razlichnykh sistem obrabotki pochvy i pryamogo poseva na chernozyome vyshchelochennom v usloviyah Zapadnoy Sibiri [Efficiency of various tillage systems and direct sowing on leached blackearth in Western Siberia] // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2022. № 4-1 (118). S. 171–175. DOI: 10.23670/IRJ.2022.118.4.027
9. Semenova E. V., Bojko A. P., Novikova L. YU. i dr. Fenotipicheskie priznaki, opredelyayushchie differenciatsiyu genofonda goroha (*Pisum sativum* L.) po napravleniyam ispol'zovaniya [Phenotypic traits determining the differentiation of the pea (*Pisum sativum* L.) gene pool according to the uses] // Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2022. T. 26, № 7. S. 599–608. DOI: 10.18699/VJGB-22-74

10. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (data obrashcheniya 28.11.2025 g.)

11. Filatova I. A. Faktorial'nye sostavlyayushchie produktivnosti goroha s usatym i listochkovym morfotipom [Factor components of pea productivity with leafless and leafy morphotypes] // *Zernovoe hozyajstvo Rossii*. 2020. № 4(70). S. 36-39. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-36-39

12. Hangil'din V. V., Biryukov S. V. Problema gomeostaza v genetiko-selekcionnyh issledovaniyah [The problem of homeostasis in genetic breeding research] // *Genetiko-citologicheskie aspekty v selekcii s.-h. rastenij*. 1984. № 1. S. 67-76.

Поступила: 28.01.26; доработана после рецензирования: 14.04.26; принята к публикации: 05.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Матолинец Н.Н. – концептуализация исследований; Лихачева Л.И., Москалев А.В. – анализ данных и их интерпретация; Лихачева Н.В. – выполнение полевых и лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ 2,4-Д НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АНДРОГЕНЕЗА В КУЛЬТУРЕ ПЫЛЬНИКОВ ТРИТИКАЛЕ (*TRITICOSECALE WITTMACK*) IN VITRO

О.В. Хомякова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-5218-6076;

В.Н. Акинина, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0003-3661-9246;

Т.И. Дьячук, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, cell_selection@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-7420-0521;

С.В. Жилин, научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6181-5279;

Э.В. Калашникова, научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-3870-0542;

О.А. Генералова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0009-0007-0146-5001;

В.П. Куликова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0003-3071-0188.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока»,
410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7, e-mail: cell_selection@list.ru

Востребованным методом получения гаплоидных растений тритикале является андрогенез *in vitro*, который реализуется в культуре пыльников и изолированных микроспор. Однако неразрешенные до настоящего времени проблемы (генотипическая зависимость, низкая частота регенерации растений и высокая доля альбиносов) снижают эффективность метода и возможности его применения в практической селекции и теоретических исследованиях. Цель исследований: выявить влияние концентраций экзогенного ауксина 2,4-Д (1 мг/л, 2 мг/л, 3 мг/л) в составе индукционной питательной среды на эффективность микроспорового эмбриогенеза в культуре пыльников тритикале. Успешность метода оценивали по следующим показателям: выход эмбриогенных пыльников и андрогенетических структур, общая регенерация растений, регенерация зеленых и альбиносных растений (% к общему числу культивируемых пыльников). Установлено, что эффективность индукционной стадии под влиянием разного количественного содержания 2,4-Д генотип-специфична. У наиболее отзывчивой линии (№10) выход андрогенетических структур был максимальным при минимальном содержании 2,4-Д (1 мг/л) и уменьшился более, чем в два раза (с 78,0 до 33,3%) при увеличении содержания 2,4-Д до 3 мг/л. У двух генотипов (№37 и №6) с увеличением концентрации 2,4-Д эффективность индукционной стадии повышалась (у №37 с 15,7 до 34,8%, у линии №6 с 30,1 до 46,5%). У двух линий с низкой отзывчивостью (№18 и №34) частота формирования андрогенетических структур увеличивалась при возрастании концентрации 2,4-Д от 1 до 2 мг/л и снижалась при увеличении концентрации ауксина до 3 мг/л. Универсальной концентрации экзогенного ауксина для всех генотипов не существует. Анализ частных средних по показателям индукционной стадии показал преимущества питательной среды с содержанием 2,4-Д 2 мг/л. Частота регенерации зеленых растений статистически значимо снижалась в варианте среды, содержащей 3 мг/л 2,4-Д. Максимальный выход зеленых растений (4% от культивируемых пыльников) получен из эмбриоидов, сформированных на среде с 2 мг/л 2,4-Д. Всего в эксперименте получено 1689 растений, из которых 977 зеленых и 712 альбиносов.

Ключевые слова: тритикале (*×Triticosecale Wittmack*), гаплоидия, культура пыльников, 2,4-Д.

Для цитирования: Хомякова О.В., Акинина В.Н., Дьячук Т.И., Жилин С.В., Калашникова Э.В., Генералова О.А., Куликова В.П. Влияние концентрации 2,4-Д на эффективность андрогенеза в культуре пыльников тритикале (*×Triticosecale Wittmack*) *in vitro* // Зерновое хозяйство России. 2026, Т. 18, № 3. С. 50-55. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-50-55.



THE EFFECT OF 2,4-D CONCENTRATION ON THE EFFICIENCY OF ANDROGENESIS IN *IN VITRO* TRITICALE ANTHHER CULTURE (*TRITICOSECALE WITTMACK*)

O.V. Khomyakova, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-5218-6076;

V.N. Akinina, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0003-3661-9246;

T.I. Diyachuk, Doctor of Biological Sciences, main researcher of the laboratory for cell breeding, cell_

selection@list.ru, 8(927)107-59-49, ORCID ID: 0000-0001-7420-0521;

S.V. Zhilin, researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6181-5279;

E.V. Kalashnikova, researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-3870-0542;

O.A. Generalova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0009-0007-0146-5001;

V.P. Kulikova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-00030-3071-0188.

*Federal State Budget Scientific Institution "Federal Agriculture Research Center the South-East",
410010, Saratov, Tulaykov Str., 7; e-mail: cell_selection@list.ru*

A popular method for producing haploid triticale plants is *in vitro* androgenesis, which is performed in anther culture and isolated microspores. However, unresolved issues (genotypic dependence, low plant regeneration rate, and high proportion of albinos) limit the method's efficiency and its applicability in practical breeding and theoretical research. The purpose of the current study was to determine the effect of exogenous auxin 2,4-D concentrations (1 mg/l, 2 mg/l, and 3 mg/l) in an induction nutrient medium on the efficiency of microspore embryogenesis in triticale anther culture. The success of the method was estimated by such parameters as a yield of embryogenic anthers and androgenetic structures, an overall plant regeneration, and regeneration of green and albino plants (% of the total number of cultured anthers). There has been established that the effectiveness of the induction stage under the effect of different quantitative 2,4-D content is genotype-specific. The most responsive line (No.10) has demonstrated the maximum yield of androgenetic structures at the minimum 2,4-D content (1 mg/l) and decreased more than twofold (from 78.0 to 33.3%) with an increase in 2,4-D content to 3 mg/l. Two genotypes (No.37 and No.6) have shown an increase of the efficiency of the induction stage with increasing 2,4-D concentration (line No.37 from 15.7 to 34.8%, line No.6 from 30.1 to 46.5%). Two lines with low responsiveness (No.18 and No.34) have increased the frequency of androgenetic structure formation with an increase in 2,4-D concentration from 1 to 2 mg/l and decreased with an increase in auxin concentration to 3 mg/l. There is no universal concentration of exogenous auxin for all genotypes. The analysis of partial means for the induction stage parameters has demonstrated the advantages of a nutrient medium containing 2 mg/l of 2,4-D. The green plant regeneration rate was statistically significantly reduced in the medium containing 3 mg/l of 2,4-D. The maximum yield of green plants (4% of cultured anthers) was obtained from embryoids formed on a medium containing 2 mg/l of 2,4-D. A total of 1,689 plants were developed in the trial, of which 977 were green and 712 were albino.

Keywords: triticale (*×Triticosecale* Wittmack), haploidy, anther culture, 2,4-D.

Введение. Тритикале (*×Triticosecale* Wittm.) – синтетический ботанический род семейства мятликовых (*Poaceae*), объединяющий в одном геноме хромосомы пшеницы и ржи. На современном этапе тритикале является коммерческой культурой, с огромным потенциалом в качестве продуктов питания человека и корма для животных. В условиях нарастания аридизации и континентальности климата проявилась высокая конкурентная способность этого вида по сравнению с другими злаками. Посевные площади под культурой в мире достигают 4 млн. га, производство зерна – более 14 млн.т. Лидерами по посевным площадям являются европейские страны – Польша, Беларусь, Франция, Германия. По данным Росстата в 2024 г. общая посевная площадь в РФ составляла около 135 тыс. га. Ведущие позиции по посевным площадям занимают Поволжье, Центрально-Черноземный регион, Северный Кавказ, Южный Урал и Сибирь. По мнению ведущих специалистов, в ближайшем будущем тритикале может стать одной из ведущих кормовых и продовольственных культур (Грабовец, 2019; Горянина и Макушин, 2021).

В селекции многих видов растений в настоящее время применяются методы биотехнологии, основанные на культивировании клеток и тканей в условиях *in vitro*. Благодаря развитию методов *in vitro* (IVB-методов) стало возможным массовое получение гаплоидных растений, которые после диплоидизации генома формируют гомозиготные удвоенные гаплоиды (DH-линии) (Niazian et al., 2020; Segui-Simarro et al., 2021). Перечень сортов различных видов злаков, полученных на основе DH-линий, отражен в публикациях Humphreys and Knox (2015) и Kishii and Singh (2020). В настоящее время гаплоидные растения получены у 384 видов (Segui-Simarro et al., 2021).

Один из наиболее востребованных методов индукции гаплоидов тритикале – андрогенез *in vitro*, который реализуется в культуре пыльников или изолированных микроспор. Метод основан на переключении программы развития микроспор с гаметофитного (формирование пыльцевого зерна) на спорофитный путь развития (асексуальное формирование эмбриоидов с последующей регенерацией растений). Микроспоровый эмбриогенез является важным адаптационным механизмом, который проявляется только в определенных условиях как следствие стрессовых воздействий (Bonet et al.1998).

Среди различных видов стрессов для получения гаплоидных растений методом андрогенеза *in vitro* наибольшее применение получило холодовое воздействие на соцветия или пыльники донорных растений (4–7°C). Критическими факторами, влияющими на эффективность эмбриогенеза, являются генотип донорного растения, стадия развития микроспор на момент отбора, тип и интенсивность применяемого стресса, минеральный состав питательных сред, тип и концентрация регуляторов роста и других биологически активных компонентов питательной среды (Niazian M., Shariathpanahi, 2020).

Конечная эффективность процесса андрогенеза зависит от трех независимых компонентов – эффективности формирования эмбриогенных структур, их способности к регенерации растений и частоты регенерации зеленых растений. Каждая из этих компонент находится под самостоятельным генетическим контролем (El-Fattach et al., 2020).

Основными неразрешенными проблемами получения гаплоидных растений тритикале в культуре пыльников являются генотипическая зависимость всех стадий андрогенеза, низкая частота регенерации

растений из эмбрионных структур и высокая доля альбиносных растений. Наибольший вклад в эффективность микроспорового эмбриогенеза вносит генотип донорного растения. Проявляются различия не только между видами, сортами и линиями, но даже между отдельными соцветиями растения. Индукционная фаза андрогенеза является более значимой, чем фаза регенерации растений. Важной частью стратегии улучшения эффективности андрогенеза является оптимизация состава индукционных питательных сред.

Физиологический статус растения, ткани и клетки играют критическую роль. Одним из компонентов физиологического статуса является гомеостаз регуляторов роста, особенно ауксинов и цитокининов, являющихся сигнальными молекулами, которые контролируют рост и развитие (Zur et al., 2015). В условиях *in vitro* ауксины и цитокинины контролируют клеточное деление и морфогенез. Эндогенный гормональный баланс ауксинов и цитокининов в индукционной питательной среде определяет эмбрионный потенциал микроспор (Juzon-Sikora et al., 2022). В культуре пыльников злаков в качестве ауксина в составе индукционной питательной среды применяется 2,4-Д в различных концентрациях от 0,5 до 2 мг/л (Ержебаева и др., 2019; Kishii and Singh; 2020). Выявлены преимущества зеатина в сравнении с кинетином в индукционной питательной среде (Дьячук и др., 2024). К выбору концентрации 2,4-Д необходимо подходить с осторожностью, в связи с ее влиянием на соматическую изменчивость и выход зеленых растений (Niazian and Shariatpanahi, 2020).

Для использования ДН-линий тритикале в теоретических исследованиях (картирования локусов количественных признаков (QTLs), в маркер-опосредованной селекции, геномном редактировании), а также практической селекции необходимы эффективные протоколы получения гаплоидных растений.

Цель исследований: выявить влияние концентраций экзогенного ауксина 2,4-Д (1 мг/л, 2 мг/л, 3 мг/л) в составе индукционной питательной среды на эффективность микроспорового эмбриогенеза в культуре пыльников тритикале.

Материалы и методы исследований. Донорные растения для культивирования пыльников выращивали на опытном поле ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (г. Саратов). Для опыта использовали 5 перспективных линий озимой тритикале различного происхождения, с неизвестными ранее параметрами гаплопродукции: №37/2025 (F₈ Студент/Союз//Modus), №10/2025 (F₉ Зимотор/оз.мягк. пш. Л39), №18/2025 (F₉ ДН-21/Каприз), №34/2025 (F₁₄ оз. мягк. пш. Губерния/АД-1//Студент), №6 (F₉ МАГ/Корнет //оз.мягк.пш. Сар.8). Выбор указанных линий был обоснован их недостаточной выравненностью по высоте растений. Отбор донорных колосьев для культивирования пыльников проводили с главных побегов на стадии вакуолизированной микроспоры. Морфологически эта стадия в условиях Саратова соответствует положению середины колоса у основания предпоследнего листа. Отобранные побеги выдерживали 14 суток при пониженной положительной температуре (4°C). Для получения стерильных культур колосья стерилизовали неразбавленным коммерческим препаратом «Белизна» в течение 8 мин с последующей 3-х кратной промывкой стерильной дистиллированной водой. Пыльники вычленили в условиях ламинар-бокса

и помещали в пробирки на косой агар питательной среды (объем 7 мл) по 20 штук в каждую. Пыльники культивировали на базовой питательной среде С-17. Культивирование пыльников проводили в темноте в течение 5-6 недель в климатостате «КС-200» (Россия) при температуре 25-28°C. Андрогенетические структуры размером более 2 мм переносили на питательную среду MS для регенерации растений, с содержанием ИУК 0,5 мг/л, кинетина 0,2 мг/л и сахарозы 3%. Вариантами опыта служили различные концентрации 2,4-Д (1 мг/л, 2 мг/л и 3 мг/л) в индукционной питательной среде. В качестве цитокинина использовали зеатин (0,5 мг/л). Эффективность андрогенеза оценивали по следующим показателям: выход эмбрионных пыльников от общего числа культивируемых пыльников (ЭП/100КП), число андрогенетических структур на 100 культивируемых пыльников (АС/100КП), общее число регенерантов на 100 андрогенетических структур (Р/100АС), число зеленых растений (ЗР/100АС) и альбиносных растений (АП/100АС). Растения, имеющие сформированные корни и побеги, яровизировали в условиях *in vitro* в бытовом холодильнике при температуре 4°C. После перевода растений в условия *ex vitro* их выращивание проходило в питательном грунте «ТЕРРАВИТА» в отдельных стаканчиках. Полный цикл получения гаплоидов и ДН-линий тритикале представлен в публикации Дьячук с соавт (2024).

Экспериментальные данные обрабатывали при помощи статистического пакета программ «Статистический и биометрико-генетический анализ в растениеводстве и селекции» («AGROS», версия 2.09) и представлены двухфакторным дисперсионным анализом.

Результаты и их обсуждение. Анализ полученных культур спустя 50 суток культивирования показал, что все генотипы сформировали андрогенетические структуры на разных вариантах питательной среды. Неотзывчивых генотипов из 5-ти изученных не выявлено. Частота формирования эмбрионных пыльников у разных генотипов варьировала от 2,3 до 38,0% от общего числа культивируемых пыльников (табл.1). Анализ частных средних показал преимущества питательной среды с 2 мг/л 2,4-Д. На индукционной питательной среде с содержанием 1 мг/л 2,4-Д сформировалось в среднем 13,8% (варьирование 2,3-38,0%) эмбрионных пыльников, на среде с 2 мг/л – 17,7% (варьирование 10,5-28,4%), с 3 мг/л – 13,1% (варьирование 7,1-21,8%). В то же время проявилась генотип-специфическая реакция в зависимости от концентрации 2,4-Д. У двух генотипов (№37 и №6) с увеличением концентрации 2,4-Д от 1 до 3 мг/л эффективность индукционной стадии повышалась. У наиболее отзывчивой линии №10 с увеличением концентрации 2,4-Д выход АС снизился с 78,0% до 33,3%, т.е. более, чем в два раза. У двух линий с низкой отзывчивостью (№18 и №34) частота формирования ЭП увеличивалась при возрастании концентрации ауксина от 1 до 2 мг/л и снижалась при содержании 2,4-Д 3 мг/л.

Средние значения второго показателя индукционной стадии (выход АС) также выше при содержании 2,4-Д 2 мг/л (35,7% в сравнении с 26,8 и 28,1%). Сравнение множественных средних по выходу структур у отдельных генотипов установило, что наиболее отзывчивыми были №10 (59,3%) и №6 (40,1%).

Таблица 1. Влияние концентраций ауксина 2,4-Д на индукцию андрогенеза в культуре пыльников тритикале

Table 1. The effect of 2,4-D auxin concentrations on androgenesis induction of triticale anther culture

№ линий	Концентрация 2,4-Д, мг/л	Культивируемые пыльники	Эмбриогенные пыльники		Андрогенетические структуры	
			шт.	% от культивируемых пыльников	шт.	% от культивируемых пыльников
37	1	2650	216	8,2с	416	15,7d
	2	2159	226	10,5d	497	23,0f
	3	2072	292	14,1f	721	34,8j
10	1	2096	797	38,0m	1635	78,0n
	2	2385	677	28,4l	1585	66,5m
	3	1618	249	15,4ghi	538	33,3ij
18	1	1731	73	4,2b	126	7,3b
	2	1735	275	15,9hi	480	26,2g
	3	1557	110	7,1c	153	9,8c
34	1	748	17	2,3a	21	2,8a
	2	1275	174	13,6ef	243	19,1e
	3	1103	82	7,4c	182	16,5d
6	1	1719	277	16,1i	517	30,1h
	2	611	123	20,1j	277	43,8k
	3	1480	323	21,8k	718	46,5l
Σ		24912	3911	15,7	8109	
НСР ₀₅ для фактора А(генотип)				0,6		1,0
НСР ₀₅ для фактора В (питательная среда)				0,5		0,7
НСР ₀₅ АхВ (взаимодействие факторов)				1,1		1,6
Средние по фактору А (генотип)			10,9с; 27,3е; 9,1b; 7,8a; 19,3d		24,5с; 59,3е; 14,4b; 12,8a; 40,1d	
Средние по фактору В (питательная среда)			13,8a; 17,7с; 13,1a		26,8a; 35,7с; 28,1b	

Примечание. Варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана;

Эффективность прохождения второго этапа гаплопродукции – регенерации растений, представлена в таблице 2. Общий выход растений на 100 культивируемых пыльников варьировал от 0,5 до 16,2%. Различия между генотипами статистически достоверны. Максимальное значение выявлено у линии №10 – 16,2%. Анализ данных по множественному сравнению частных средних по различным вариантам питательных сред показал, что эффективность регенерации АС, сформированных на инициальной среде с различным содержанием 2,4-Д, не различалась.

Регенерация зеленых растений по отношению к

культивируемым пыльникам варьировала от 0,3 до 12,4%. Генотип оказал достоверное влияние на выход зеленых растений. Максимальное значение показателя (12,4%) проявилось у линии №10 на среде содержащей 1 мг/л 2,4-Д. Множественное сравнение частных средних показывает, что увеличение концентрации 2,4-Д до 3 мг/л статистически значимо снижает выход зеленых регенерантов. Оптимальной для регенерации зеленых растений из сформированных эмбриоидов, была среда с 2 мг/л 2,4-Д (4,0%). Выход альбиносных растений зависел от генотипа, но концентрация ауксина не повлияла на этот показатель.

Таблица 2. Влияние концентраций 2,4-Д в индукционной среде на регенерацию растений

Table 2. The effect of 2,4-D concentrations in the induction medium on plant regeneration

№ линии	Концентрация 2,4-Д, мг/л	Получено растений					
		всего		зеленых		альбиносов	
		шт.	% от культивируемых пыльников	шт.	% от культивируемых пыльников	шт.	% от культивируемых пыльников
№37	1	125	4,7f	20	0,8ab	105	4,0j
	2	100	4,6ef	27	1,3bc	73	3,4g
	3	125	6,0g	46	2,2e	79	3,8hij
№10	1	339	16,2m	254	12,4l	85	4,1j
	2	311	13,0l	190	8,0k	121	5,10k
	3	130	8,0hij	84	5,2h	46	2,8f
№18	1	25	1,4a	14	0,8ab	11	0,6abc
	2	74	4,3def	58	3,3f	16	0,9cd
	3	43	2,8c	26	1,7de	17	1,1d

Продолжение табл. 2

№34	1	4	0,5a	2	0,3a	2	0,3a
	2	33	2,6bc	22	1,7cde	11	0,9bcd
	3	8	0,7a	4	0,4a	4	0,4a
№6	1	149	8,7j	82	4,8gh	67	13,9ij
	2	51	8,4ij	36	5,9i	15	2,5ef
	3	172	11,6k	112	7,6k	60	4,1j
Σ		1689		977		712	
В т.ч. Среда 1		642		372		270	
Среда 2		569		333		236	
Среда 3		478		272		206	
НСР ₀₅ для фактора А (генотип)			0,2		0,3		0,2
НСР ₀₅ для фактора В (соотношение гормонов)			0,2		0,2		NS
НСР ₀₅ для А х В (взаимодействие факторов)			0,4		0,5		0,3
Средние по фактору А – 5,1с; 12,4е; 2,8б; 1,3а; 9,6д				1,4б; 8,5е; 1,9с; 0,8а; 6,1д		3,7д; 4,0е; 0,9б; 0,5а; 3,5с	
Средние по фактору В – 6,3аб; 6,6б; 5,8а				3,8б; 4,0б; 3,4а		2,6; 2,6; 2,4	

Примечание. Варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана.

Из литературы известно, что в культуре пыльников тритикале на жидкой инициальной среде, содержащей зеатин, формируются дифференцированные биполярные структуры (Ержебаева и др., 2019). В наших опытах применялась агаризованная питательная среда, сформированные структуры в основном были представлены глобулярными эмбриоидами. Агар может влиять на осмотические и нутриентные свойства геля из-за содержания фенольных веществ и жирных кислот, ингибирующих рост клеточных культур. Кроме того, недостаточная дифференциация эмбриоподобных структур может быть связана с конкуренцией за элементы питания и истощением питательной среды. В то же время агаризованная питательная среда имеет несомненные преимущества в рутинной работе для массового получения гаплоидных растений, так как культуры в меньшей степени подвергаются контаминации, что особенно важно при многократном переносе эмбриогенных структур из одной пробирки на среду для регенерации растений.

Установлено, что холодовая обработка увеличивала содержание ИУК как в пыльниках отзывчивых, так и слабо отзывчивых генотипов. В то же время, в пыльниках отзывчивых линий выявлена значительно меньшая концентрация этого гормона. Авторы считают, что ни один из регуляторов роста поодиночке не влияет на эмбриогенную компетенцию микроспор.

Критической прерогативой для успешной индукции микроспорового эмбриогенеза является специфический гомеостаз эндогенных и экзогенных регуляторов роста. Корреляционный анализ подтвердил наличие сильной отрицательной корреляции между концентрацией ИУК и эффективностью микроспорового эмбриогенеза (Zur et al., 2015).

Выводы. Эффективность андрогенеза тритикале в культуре пыльников *in vitro* под влиянием разных концентраций 2,4-Д в составе индукционной питательной среды генотип-специфична. Максимальное значение показателей индукционной стадии у наиболее отзывчивого генотипа выявлен при сниженных концентрациях ауксина. Анализ частных средних по параметрам индукционной стадии выявил преимущества питательной среды с соотношением ауксина/цитокинин 2/0,5 мг/л.

Преимущества второго варианта питательной среды (2/0,5) проявились по средней частоте формирования зеленых растений, которая составила 4% от КП. В общей сложности из 24912 КП сформировалось 3911 ЭП, 8109 АС, получено 1689 растений, из которых 977 зеленых и 712 альбиносов.

Финансирование. Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания по теме FNWF-2022-0001 «Ускоренное создание сортов и линий тритикале на основе удвоенных гаплоидов».

Библиографический список

1. Грабовец А.И. Тритикале – итоги селекции и проблемы возделывания // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. №1. С.32-36. DOI: 10.30850/vrsn/2019/1/32-36.
2. Горянина Т.А., Макушин А.Н. Качество зерна сортов озимых тритикале селекции Самарского НИИСХ // Аграрный научный журнал. 2021. №7. С.4-8. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp4-8
3. Дьячук Т.И., Хомякова О.В., Акинина В.Н., Жилин С.В., Калашникова Э.В., Сайфетдинов Е.А. Влияние кинетина и зеатина на показатели андрогенеза в культуре пыльников тритикале (*×Triticosecale* Wittmack) *in vitro* // Сельскохозяйственная биология. 2024. Т 59. №5. С.983-994. DOI: 10.15389/agrobiology.2024/5/ 983rus.
4. Ержебаева Р.С., Абдурахманова Б.А., Бастубаева Ш.О., Таджикибаев Д. Эмбриогенез и регенерация растений в культуре пыльников гексаплоидной тритикале (*×Triticosecale* Wittmack) под влиянием цитокинина зеатина // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т.54. №5. С.934-945. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.934rus
5. Bonet F.J., Azbaid L., Olmedilla A. Pollen embryogenesis: atavism or totipotency // Protoplasma. 1998. Vol. 202. P. 115-121

6. El-Fatah A., Bahaa E.S., Sayed M.A., El-Sanussy S.A. Genetic analysis of anther culture response and identification of QTLs associated with response in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Molecular Biology Reports. 2020. Vol.47 (12). P.9289-9300. DOI: 1007/s11033-020-06007-z.
7. Humphreys D.G. and Knox E. Doubled Haploid Breeding in Cereals // Advances in Plant Breeding Strategies: Breeding, Biotechnology and Molecular Tools (Al-Khayri et al. (eds): Springer Int. Publishing. Switzerland, 2015. P. 241-290. DOI: 10.1007/978-3-319-2251-0_9.
8. Juzon-Sikora K., Nowicka A., Plaskova L., Dolezal K., Zur I. Hormonal homeostasis associated with effective induction of Triticale microspore embryogenesis // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2022. Published online 26 December 2022. DOI: 10.1007/s11240-022-02433-y.
9. Kishii M. and Singh S. Haploid Production Technology: Fasten Wheat Breeding to Meet Future Food Security // Accelerated Plant Breeding. Vol.1: Springer Nature Switzerland AG, 2020. P.139-165. DOI: 10.1007/978-3-030-41866-3_6.
10. Niazian M., Sharithpanahi M.E. In vitro-based doubled haploid production: recent improvements // Euphytica. 2020. Vol. 216. P.69. DOI: 1007/s10681-020-02609-7.
11. Segui-Simarro J.M., Moreno J.B., Fernandez M.G., and Mir R. Species with Haploid or Doubled Haploid Protocols // Segui-Simarro J.M. (ed.) Doubled Haploid Technology: General Topics. Vol.1: Methods in Molecular Biology: Business Media, LLC, Part of Springer Nature. 2021. DOI:10.1007/978-1-0716-1315-3_3.
12. Zur I., Dubas E., Krzewska M., Waligorski P., Dziurka M., Janowiak F. Hormonal requirements for effective induction of microspore embryogenesis in triticales (*×Triticosecale* Wittmack) anther cultures // Plant Cell Reports. 2015. Vol.34. P. 47-62. DOI: 10.1007/s00299-014-1686-4.

References

1. Grabovec A.I. Tritikale – itogi selekcii i problemy vzdelyvaniya [Triticale: breeding results and cultivation challenges] // Vestnik Rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2019. №1. S.32-36. DOI: 10.30850/vrsn/2019/1/32-36.
2. Goryanina T.A., Makushin A.N. Kachestvo zerna sortov ozimyh tritikale selekcii Samarskogo NIISKH [Grain quality of winter triticales varieties developed at the Samara RIA] // Agrarnyj nauchnyj zhurnal. 2021. №7. S.4-8. DOI: 10.28983/asj.y2021i7pp4-8
3. D'yachuk T.I., Homyakova O.V., Akinina V.N., Zhilin S.V., Kalashnikova E.V., Sajfetdinov E.A. Vliyanie kinetina i zeatina na pokazateli androgeneza v kul'ture pyl'nikov tritikale (*×Triticosecale* Wittmack) in vitro [The effect of kinetin and zeatin on androgenesis in triticales anther culture] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2024. T 59. №5. S.983-994. DOI: 10.15389/agrobiology.2024/5/ 983rus.
4. Erzhebaeva R.S., Abdurahmanova 'A., Bastubaeva S.H.O., Tadzhibaev D. Embriogenez i regeneraciya rastenij v kul'ture pyl'nikov geksaploidnoj tritikale (*×Triticosecale* Wittmack) pod vliyaniem citokinina zeatina [Embryogenesis and plant regeneration in hexaploid triticales (*×Triticosecale* Wittmack) anther under the effect of the cytokinin zeatin] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2019. T.54. №5. S.934-945. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.5.934rus
5. Bonet F.J., Azbaid L., Olmedilla A. Pollen embryogenesis: atavism or totipotency // Protoplasma. 1998. Vol. 202. P. 115-121
6. El-Fatah A., Bahaa E.S., Sayed M.A., El-Sanussy S.A. Genetic analysis of anther culture response and identification of QTLs associated with response in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Molecular Biology Reports. 2020. Vol.47 (12). P.9289-9300. DOI: 1007/s11033-020-06007-z.
7. Humphreys D.G. and Knox E. Doubled Haploid Breeding in Cereals // Advances in Plant Breeding Strategies: Breeding, Biotechnology and Molecular Tools (Al-Khayri et al. (eds): Springer Int. Publishing. Switzerland, 2015. P. 241-290. DOI: 10.1007/978-3-319-2251-0_9.
8. Juzon-Sikora K., Nowicka A., Plaskova L., Dolezal K., Zur I. Hormonal homeostasis associated with effective induction of Triticale microspore embryogenesis // Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC). 2022. Published online 26 December 2022. DOI: 10.1007/s11240-022-02433-y.
9. Kishii M. and Singh S. Haploid Production Technology: Fasten Wheat Breeding to Meet Future Food Security // Accelerated Plant Breeding. Vol.1: Springer Nature Switzerland AG, 2020. P.139-165. DOI: 10.1007/978-3-030-41866-3_6.
10. Niazian M., Sharithpanahi M.E. In vitro-based doubled haploid production: recent improvements // Euphytica. 2020. Vol. 216. P.69. DOI: 10.1007/s10681-020-02609-7
11. Segui-Simarro J.M., Moreno J.B., Fernandez M.G., and Mir R. Species with Haploid or Doubled Haploid Protocols // Segui-Simarro J.M. (ed.) Doubled Haploid Technology: General Topics. Vol.1: Methods in Molecular Biology: Business Media, LLC, Part of Springer Nature. 2021. DOI:10.1007/978-1-0716-1315-3_3.
12. Zur I., Dubas E., Krzewska M., Waligorski P., Dziurka M., Janowiak F. Hormonal requirements for effective induction of microspore embryogenesis in triticales (*×Triticosecale* Wittmack) anther cultures // Plant Cell Reports. 2015. Vol.34. P.47-62. DOI: 10.1007/s00299-014-1686-4.

Поступила: 29.01.26; доработана после рецензирования: 14.04.26; принята к публикации: 05.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Хомякова О.В. – концептуализация исследования, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Акинina В.Н. – сбор и анализ данных; Дьячук Т.И. – концептуализация исследования, подготовка рукописи; Жилин С.В. – подготовка и выполнение опыта; Калашникова Э.В. – подготовка и выполнение опыта; Генералова О.А. – подготовка и выполнение опыта; Куликова В.П. – подготовка и выполнение опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА В ЗЕРНЕ СОРТОВ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ

Н.А. Ковтунова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

Д.М. Марченко^{1,2}, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

А.С. Иванисова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, kameneva.anka2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1466-250X;

О.А. Дубинина¹, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, dubinina.1881@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2768-4935.

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3;

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет,

344003, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, зд. 1.

Цель данной работы – на примере сортов озимой твердой пшеницы выявить зависимость процентного содержания белка в зерне и урожайности зерна от факторов внешней среды, а так же взаимосвязь данных показателей между собой. Исследования проводили в 2021–2025 гг. Объектом исследований послужили 12 сортов селекции «АНЦ «Донской». В качестве стандарта использовали сорт Кристелла. Метеорологические условия в годы исследований были разнообразными: ГТК^{апрель-июль} имел значения от 0,28 до 1,23. По урожайности зерна выделились сорта Динас, Эллада, Агат донской, Графит и Придонье, превысившие стандарт на 0,92–1,55 т/га или на 11,1–18,8%. Варьирование сортов по годам составило от 15,25 до 29,32%, что говорит о значительной изменчивости данного показателя. Согласно дисперсионного анализа, фактор «год» на урожайность зерна изучаемых сортов озимой твердой пшеницы оказывает большее влияние, чем на содержание белка и составляет 87,9%. По содержанию белка варьирование было незначительным (4,44–8,39%), что говорит о стабильности показателя у данных сортов. Максимальные значения отмечены у сортов Хризолит (14,80%), Амазонка (14,87%), Диона (14,91%). Наибольшее содержание белка в среднем по сортам отмечено в 2021 (15,01%), 2023 (14,89%) и 2025 (14,67%) годах, характеризующихся средним и недостаточным увлажнением. Корреляционно-регрессионный анализ подтверждает сильную положительную связь ГТК ($0,98 \pm 0,11$) с содержанием белка. Дисперсионный анализ подтвердил, что фактор «год» оказывает наибольшее влияние (62,3%) на изменчивость признака. Несмотря на наличие отрицательной корреляции между урожайностью и содержанием белка в зерне ($r = -0,68 \pm 0,42$), в 2022 г. отмечены высокие значения среднесортového значения по обоим признакам. Сочетание высокой урожайности и содержания белка отмечено у сортов Агат донской (9,29 т/га и 14,62%), Придонье (9,81 т/га и 14,20%).

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, белок, урожайность, корреляция, дисперсионный анализ.

Для цитирования: Ковтунова Н. А., Марченко Д.М., Иванисова А.С., Дубинина О.А. Урожайность и содержание белка в зерне сортов озимой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, №3. С.56-62. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-56-62.



PRODUCTIVITY AND PROTEIN PERCENTAGE IN GRAIN OF WINTER DURUM WHEAT VARIETIES

N.A. Kovtunova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

D.M. Marchenko^{1,2}, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

A.S. Ivanisova¹, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, kameneva.anka2016@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1466-250X;

O.A. Dubinina¹, agronomist of the laboratory for winter wheat breeding and seed production, dubinina.1881@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2768-4935.

¹FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3;

²FSBEI HE “Donskoy State Technical University”,

344000, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1.

The purpose of the current study was to identify the dependence of protein percentage in grain and grain productivity upon environmental factors, as well as the correlation between these indicators, using winter durum wheat varieties as an example. The study was conducted from 2021 to 2025. The objects of the study were twelve varieties developed by the "ARC "Donskoy". The variety Kristella was used as the standard one. The weather conditions varied during the period of study, with HTC_{April-July} of 0.28 to 1.23. The varieties Dinas, Ellada, Agat Donskoy, Graft, and Pridonie have shown the best grain productivity, exceeding the standard by 0.92–1.55 t/ha, or 11.1–18.8%. Variation among varieties ranged from 15.25 to 29.32%, indicating significant variability in this indicator. According to the analysis of variance, the factor 'year' had a greater impact on grain productivity of the studied winter durum wheat varieties than on protein percentage, amounting to 87.9%. Protein percentage in grain varied insignificantly (4.44–8.39%), indicating stability among these varieties. The highest values were established in the varieties Khrizolit (14.80%), Amazonka (14.87%), and Diona (14.91%). The highest average protein percentage in grain among the varieties was recorded in 2021 (15.01%), 2023 (14.89%), and 2025 (14.67%), characterized by moderate and insufficient moisture. Correlation and regression analysis has confirmed a strong positive correlation between HTC (0.98±0.11) and protein percentage in grain. An analysis of variance has confirmed that the factor 'year' has the greatest effect (62.3%) on trait variability. Despite a negative correlation between productivity and protein percentage in grain ($r = -0.68 \pm 0.42$), there were established the high varietal average values for both traits in 2022. A combination of high productivity and protein percentage in grain was identified in the varieties Agat Donskoy (9.29 t/ha and 14.62%) and Pridonie (9.81 t/ha and 14.20%).

Keywords: winter durum wheat, protein, productivity, correlation, analysis of variance.

Введение. Твердая пшеница – десятая по значимости культура в мире со среднегодовым объемом производства 40 млн т. Как правило, производство твердой озимой пшеницы составляет 5% от общего объема производства пшеницы, а ее площадь составляет в мире около 16 млн га. (Beres et al., 2020) Твердая пшеница выращивается, в основном, для производства макаронных изделий, поэтому зерно должно обладать высоким содержанием белка, прочностью клейковины и высоким содержанием желтого пигмента. Согласно Регламента ЕС №2237/2003 от 23.12.2003 г., именно процентное содержание белка в зерне твердой пшеницы вносит наибольший вклад в индекс качества (40%), за ним следует клейковина (30%) (Giunta et al., 2020). Считается, что хорошее качество макарон при варке связано с высоким содержанием белка и клейковины или со средним содержанием белка, но высоким содержанием клейковины. Содержание белка выше 13% желательно для приготовления макаронных изделий хорошего качества, в результате чего повышается устойчивость к перевариванию. Включение этого требования при создании сортов стало важной задачей. Помимо макаронных изделий, твердая пшеница используется для производства таких продуктов как кускус и булгур. Оба продукта так же требуют высокого содержания белка, чтобы избежать липкости и для высокой водопоглощающей способности.

Однако селекция любой культуры, в том числе и пшеницы, направлена, в основном, на увеличение урожайности (Ковтунова и др., 2025). Это, в свою очередь, привело к тому, что новые сорта, значительно превосходят старые по урожайности и независимо от нормы азотного питания, старые характеризуются более высоким содержанием белка. Поэтому отрицательную корреляцию между этими признаками можно считать, в том числе, как следствие улучшения урожайности. Тем не менее, имеются генотипы, не соответствующие данной тенденции, которые демонстрируют увеличение как урожайности, так и содержание белка в зерне. При использовании в селекции донора высокого содержания белков, можно одновременно улучшить эти два показателя.

Как урожайность, так и содержание белка значительно зависят от изменения внешних условий (Иванисова и др., 2024; Рыбась и др., 2024). В засушливых и полувасушливых районах высокие температуры на

протяжении большей части периода налива являются очень распространенным явлением. Засуха – наиболее распространенный стрессовый фактор окружающей среды, который может оказать значительное влияние на рост и развитие озимой пшеницы. Внезапная засуха и постоянный дефицит воды в период колошения и цветения приводит к уменьшению количества зерен из-за высокого испарения влаги, и, следовательно, к снижению урожая. Например, сильная засуха у пшеницы на стадии налива зерна может снизить урожайность до 44 %. Высокие температуры во время налива зерна значительно увеличивают содержание белка в зерне. Однако чрезвычайно высокие температуры (более 32°C) препятствуют синтезу белка. До цветения окружающая среда влияет на прорастание, фотосинтез, формирование побегов, тем самым влияя на количество зерен. А содержание белка зависит только от генетических факторов. После цветения условия окружающей среды влияют на размер и состав зерна (Vensel, 2006). Температура воздуха, выходящая за пределы типичного диапазона, может иметь серьезные последствия для сельскохозяйственных культур, значительно снижая урожайность. Как увеличение, так и снижение ее снижает скорость образования сухой массы, а иногда может привести к прекращению развития. Низкие температуры в начале кущения могут повредить листья растений, подавить синтез органического вещества, что влияет на развитие зерна. Низкие температуры после цветения могут снизить скорость налива зерна, замедлить транспорт белков, ухудшить качество (Han et al., 2025). Повышение температуры на 1 градус от нормы на стадии налива зерна снижает урожайность пшеницы на 6% в мире, и на 3-17% – в Азии, так как это вызывает нарушения различных клеточных, физиологических функций (сокращению периода вегетации, прекращение роста зерновки, а, следовательно, массы 1000 зерен) (Vensel, 2006). При этом, накопление белка происходит быстрее. Например, в исследованиях Wieser и др. (2023) процентное содержание белка увеличилось в 1,2 раза при дневной температуре 37°C/ночной 17°C и в 1,9 раза при 37/28°C по сравнению с 24/17°C соответственно.

Влияние дефицита влаги на белковый состав зерна зависит от уровня и времени возникновения данного стресс-фактора. При водном стрессе, возникающем в течение всего периода вегетации, наблюдается

увеличение содержание белка за счет снижения урожайности. Водный стресс зимой в сочетании с обильными осадками весной обеспечивает высокое содержание белка без влияния на урожайность. При водном стрессе в период налива улучшается прочность клейковины (Нап et al., 2025).

Информация о влиянии внешних условий (содержания влаги, температуры) на качество и урожайность зерна имеет первостепенное значение в свете глобального потепления и последующих изменений климата. Для обеспечения продовольственной безопасности селекционеры должны разрабатывать новые экологически пластичные сорта, способные эффективно использовать почвенно-климатические условия в различных условиях.

Цель данной работы – на примере сортов озимой твердой пшеницы выявить зависимость процентного содержания белка в зерне и урожайности зерна от факторов внешней среды, а так же взаимосвязь данных показателей между собой.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2021–2025 гг. на опытных участках ФГБНУ «АНЦ «Донской». Согласно Зональных систем земледелия Ростовской области на 2022–2026 годы (2022), почва данной зоны – обыкновенный карбонатный чернозем – характеризуется следующими показателями: содержание гумуса 3,2%, фосфора – 10–40 мг/кг,

азота – 70–110 мг/кг, калия – 300–500 мг/кг почвы.

Объектом исследований послужили 12 сортов селекции «АНЦ «Донской», внесенные в Государственный реестр селекционных достижений. В качестве стандарта использовали сорт Кристелла.

Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed S рядовым способом с нормой высева 450 всхожих зерен на 1 м². Площадь делянок – 10 м², повторность – шестикратная.

Содержание белка у сортов озимой твердой пшеницы определяли по ГОСТ 10846-91. Для определения параметров стабильности использовали метод S.A.Eberhart & W.A.Russel (1966).

Метеорологические условия в годы исследований были разнообразными. Согласно ГТК за период октябрь-июль (посев-полная спелость) во все годы исследований указывает на достаточное увлажнение, в целом, за данный период. Однако, ГТК за данный период малоинформативен из-за неравномерного распределения осадков и достаточно большого периода. Согласно методики Е.С. Улановой (1973), условия именно весенне-летнего периода вегетации формируют продуктивность озимой пшеницы. Значения ГТК за период «апрель-июль» указывают на среднюю и недостаточную увлажненность в 2021, 2022, 2024 и 2025 гг. (0,69–1,23), а в 2023 г. – очень сильную засуху (0,28) (табл. 1) (Справочник эколого-географических характеристик, 2005).

Таблица 1. Значения гидротермического коэффициента, 2021–2025 гг.

Table 1. Hydrothermal coefficient values, 2021–2025

Показатель	Норма	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Апрель	1,29	3,09	1,69	2,55	0,26	1,03
Май	1,00	1,16	0,68	0,23	0,45	0,99
июнь	1,12	1,61	0,14	0,60	0,18	1,69
июль	0,81	0,30	0,70	0,70	0,29	0,16
октябрь-июль	2,25	1,83	2,07	1,60	1,58	1,31
Апрель-июль	1,02	1,23	0,69	0,86	0,28	0,89

Результаты и их обсуждение. Урожайность зерна у изученных сортов в среднем за 2021–2025 гг. имела значения от 8,26 до 9,81 т/га. Выделились сорта Динас, Эллада, Агат донской, Графит и Придонье, превысившие стандарт на 0,92–1,55 т/га или на 11,1–18,8% (табл. 2).

Наибольшие значения урожайности зерна отмечены в 2022 и 2024 гг. (11,67 и 9,78 т/га), в годы с наименьшим содержанием белка в зерне. Варьирование сортов по годам составило от 15,25 до 29,32%, что говорит о значительной изменчивости данного показателя.

Таблица 2. Урожайность зерна сортов озимой твердой пшеницы, 2021–2025 гг.

Table 2. Grain productivity of winter durum wheat varieties, 2021–2025

Сорт	Урожайность зерна, т/га						V, %	bi
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее		
Кристелла, стандарт	6,81	11,35	5,17	8,58	9,39	8,26	24,80	1,14
Амазонка	7,40	10,88	5,41	10,12	9,59	8,68	22,08	1,05
Агат донской	7,30	12,03	7,62	9,71	9,80	9,29	20,44	0,91
Диона	7,57	11,00	6,38	10,13	9,53	8,92	24,22	0,91
Услава	6,65	11,78	6,70	9,61	9,14	8,78	19,31	1,04
Лакомка	7,29	11,21	7,05	9,30	9,07	8,78	25,06	0,82
Динас	7,49	11,91	6,34	9,72	10,05	9,10	27,01	1,07
Эллада	7,71	12,72	6,39	8,71	10,39	9,18	29,32	1,14
Хризолит	6,16	12,05	6,11	10,64	9,78	8,95	21,76	1,29
Придонье	8,06	12,22	7,66	11,09	10,03	9,81	15,25	0,93
Каротинка	7,47	10,81	7,17	9,23	9,36	8,81	22,57	0,73
Графит	8,31	12,14	7,09	10,52	10,34	9,68	24,54	0,97
среднее	7,35	11,67	6,59	9,78	9,70	9,02	-	-
Min	6,16	10,81	5,17	8,57	9,07	8,26	-	-
Max	8,31	12,72	7,66	11,09	10,39	9,81	-	-

Продолжение табл. 2

НСР ₀₅	0,67	0,70	0,51	0,82	0,40	0,62	-	-
V, %	8,04	5,22	11,92	7,81	4,50	4,77	-	-

Так как климатические условия считаются нерегулируемыми факторами среды, поэтому основной задачей селекционеров является повышение экологической устойчивости, их способности стабильно обеспечивать высокие показатели продуктивности и качества зерна в меняющихся условиях (Шрам и др., 2023). Коэффициент линейной регрессии (b_i) изученных сортов имел значения в пределах 0,73–1,29, что указывает на наличие в выборке как выносливых «стабильных» сортов, так и сортов, ориентированных на максимальный результат в благоприятных условиях. Сорта Амазонка, Услава, Динас, Придонье, Графит с b_i близким к 1,0 считаются экологически пластичными.

Они стабильно реагируют на улучшение или ухудшение условий выращивания. Сорта Лакомка и Каротинка с $b_i < 1,0$ обладают высокой экологической устойчивостью. Они менее требовательны и стабильнее ведут себя на низком агрофоне, слабо реагируя на его улучшение. Сорта интенсивного типа – Кристелла, Эллада, Хризолит ($b_i > 1,0$) – отзывчивы на высокий агрофон, но сильнее снижают урожайность в неблагоприятных условиях.

Согласно дисперсионного анализа, фактор «год» на урожайность зерна изучаемых сортов озимой твердой пшеницы оказывает большее влияние, чем на содержание белка и составляет 87,9% (табл. 3).

Таблица 3. Результаты дисперсионного анализа по изучению влияния внешних условий и сортового состава на урожайность зерна сортов твердой озимой пшеницы

Table 3. Results of the analysis of variance on the effect of the weather conditions and varietal composition on grain productivity of winter durum wheat varieties

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат	F _{факт.}	F _{теор.}	Доля, %
Общая	687,2	179	-	-	-	-
Повторений	1,3	2	0,66	-	-	-
Фактор А (год)	604,0	4	150,99	1455,40	2,44	87,9
Фактор В (сорт)	30,6	11	2,78	26,80	1,83	4,4
Взаимодействие АВ	52,7	44	1,20	11,53	1,21	7,7
Остаток	12,2	118	0,10	-	-	-

Изученный набор сортов озимой твердой пшеницы по содержанию белка в зерне слабо различался между собой, коэффициент варьирования во все годы не превышал 5,09%. По годам варьирование так же было незначительным (4,44–8,39%), что говорит о стабильности показателя у данных сортов. В среднем

за 2021–2025 гг. большая часть сортов имели значения на уровне стандартного сорта Кристелла ($14,75 \pm 0,32$) и относятся к первому классу пшеницы. Максимальные значения отмечены у сортов Хризолит (14,80%), Амазонка (14,87%), Диона (14,91%) (табл. 4).

Таблица 4. Содержание белка в зерне у сортов озимой твердой пшеницы, 2021–2025 гг.

Table 4. Protein percentage in grain of winter durum wheat varieties, 2021–2025

Сорт	Содержание белка, %						V, %	b _i
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее по сортам		
Кристелла, стандарт	15,95	13,89	15,2	13,49	15,21	14,75	6,93	0,62
Амазонка	16,03	14,74	15,62	13,29	14,69	14,87	7,09	0,63
Агат донской	15,33	14,5	15,2	13,5	14,58	14,62	4,97	0,25
Диона	15,56	15,2	15,01	13,71	15,06	14,91	4,72	0,12
Услава	15,06	14,8	14,51	13,39	14,64	14,48	4,44	0,05
Лакомка	15,06	14,1	14,02	13,4	14,71	14,26	4,53	0,09
Динас	15,01	13,64	14,93	13,15	14,48	14,24	5,74	0,40
Эллада	15,51	13,59	15,08	13,72	14,45	14,47	5,77	0,34
Хризолит	15,47	13,84	16,54	13,48	14,66	14,80	8,39	0,65
Придонье	15,1	13,9	14,54	13,12	14,33	14,20	5,22	0,32
Каротинка	15,83	13,96	14,27	13,61	14,71	14,48	5,93	0,34
Графит	15,07	12,88	13,7	13,07	14,49	13,84	6,73	0,38
Среднее по годам	15,42	14,09	14,89	13,41	14,67	-	-	-
Min	15,01	12,88	13,7	13,07	14,33	13,84	-	-
Max	16,03	15,2	16,54	13,72	15,21	14,91	-	-
s	0,37	0,63	0,76	0,22	0,25	0,32	-	-
V, %	2,40	4,49	5,09	1,63	1,71	-	-	-

Наибольшее содержание белка в среднем по сортам отмечено в 2021 (15,42%), 2023 (14,89%) и 2025 (14,67%) годах, характеризующихся средним и недостаточным увлажнением. Согласно исследованиям ученых, на формирование качества и продуктивности пшеницы, в больше мере, оказывают влияние условия июня (период налива зерна) (Vensel, 2006). В наших исследованиях ГТК в июне имел наибольшие значения

в вышеуказанные года, что говорит о благоприятном соотношении влаго- и теплообеспеченности для озимой пшеницы. Корреляционно-регрессионный анализ подтверждает сильную положительную связь ГТК_{апрель-июль} с содержанием белка (рис. 1). Коэффициент корреляции составил $0,98 \pm 0,11$, при повышении ГТК на 0,1 содержание протеина увеличивается на 0,22%.

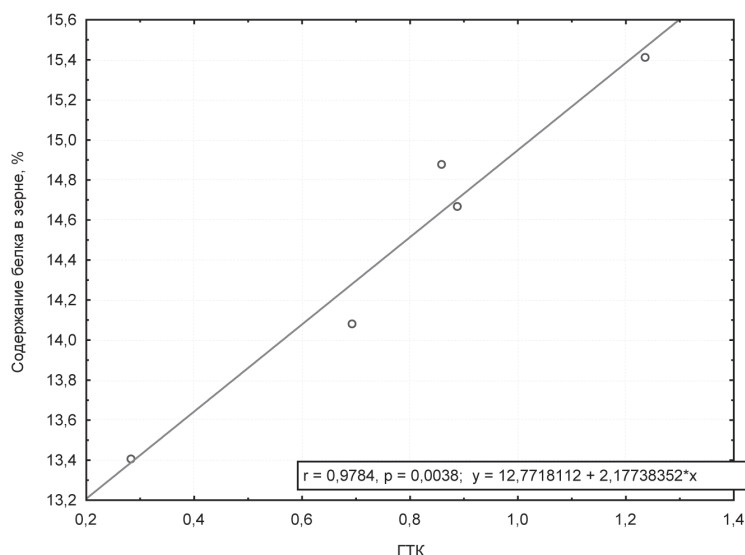


Рис. 1. Зависимость содержания протеина в зерне сортов озимой твердой пшеницы и ГТК_{апрель-июль} 2021–2025 гг.
Fig. 1. Correlation between protein percentage in grain of winter durum wheat varieties and ГТК_{апрель-июль} 2021–2025

Коэффициент линейной регрессии (b_i) (0,05–0,65) указывает на низкую чувствительность изученных сортов по данному показателю к изменению условий выращивания. Такие сорта считаются экологически устойчивыми, содержание белка у них слабо реагирует на улучшение условий, но стабильно при неблагоприятных факторах. В целом, такие значения характерны для адаптированных к конкретным зонам сортов.

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ по содержанию белка подтверждает наличие значимых различий по факторам «генотип», «год» и их

взаимодействие на изменчивость данного показателя (табл. 5). Фактор «год» оказывает наибольшее влияние (62,3%) на изменчивость признака. Доля влияния «генотип x среда» по содержанию белка составила 25,5%, что говорит о высоком значении условий выращивания для реализации генетического потенциала сорта. Доля фактора «генотип» 12,2% говорит о неэффективности проведения отбора по данному показателю, так как высокие значения признака обусловлены, скорее всего, не генетическими особенностями, а условиями выращивания.

Таблица 5. Результаты дисперсионного анализа по изучению влияния внешних условий и сортового состава на содержание белка в зерне сортов твердой озимой пшеницы

Table 5. Results of the analysis of variance on the effect of the weather conditions and varietal composition on protein percentage in grain of winter durum wheat varieties

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат	F _{факт.}	F _{теор.}	Доля, %
Общая	137,5	179	-	-	-	-
Повторений	1,5	2	0,73	-	-	-
Фактор А (год)	85,7	4	21,43	268,17	2,44	62,3
Фактор В (сорт)	16,8	11	1,53	19,15	1,83	12,2
Взаимодействие АВ	35,0	44	0,80	9,95	1,21	25,5
Остаток	9,4	118	0,08	-	-	-

Корреляционно-регрессионный анализ показал, что урожайность зерна изучаемых сортов находится в средней отрицательной связи с ГТК за период «апрель-июль» ($-0,52 \pm 0,46$) (рис. 2). Повышение средней

температуры воздуха в мае, в период колошения-цветения, оказало отрицательное ($r = -0,70 \pm 0,41$), а в июне, в период формирования зерна, положительное влияние на урожайность зерна ($r = 0,58 \pm 0,46$).

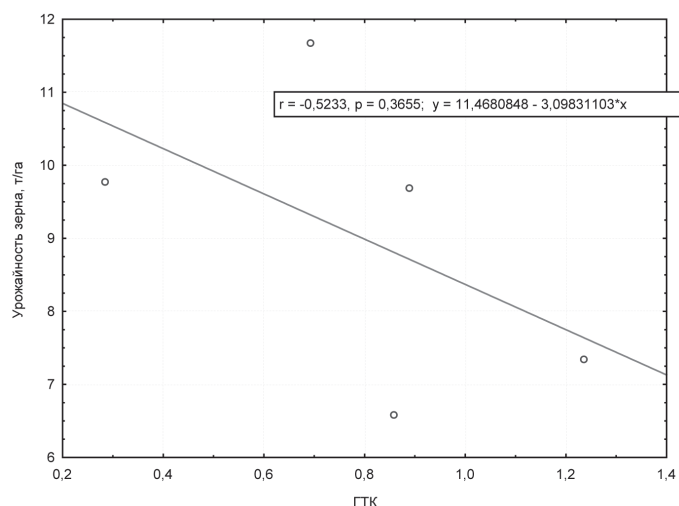


Рис. 2. Зависимость урожайности зерна сортов озимой твердой пшеницы и ГПК_{апрель-июль} 2021–2025 гг.

Fig. 2. Correlation between grain productivity of winter durum wheat varieties and HTC_{April-July} 2021–2025

Наличие обратной корреляционной связи урожайности зерна с содержанием белка у

сортов озимой твердой пшеницы подтверждает (рис. 3).

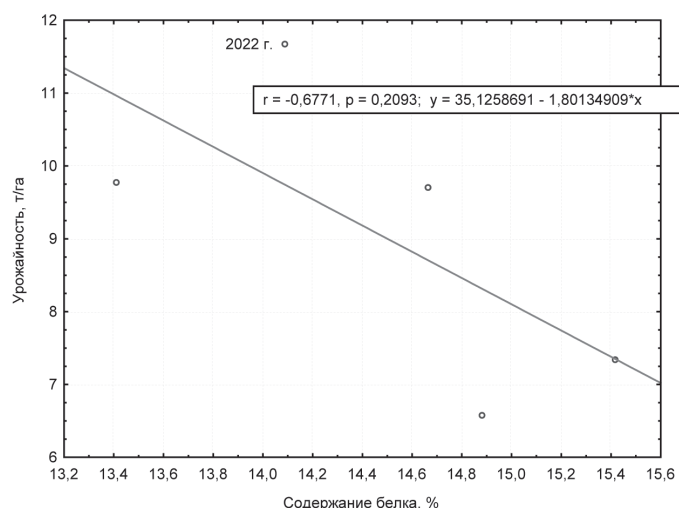


Рис. 3. Взаимосвязь содержания протеина в зерне с урожайностью зерна сортов озимой твердой пшеницы, 2021–2025 гг.

Fig. 3. Correlation between protein percentage in grain and grain productivity of winter durum wheat varieties, 2021–2025

Коэффициент детерминации 0,449 указывает на то, что у данных сортов около 45% межсортной изменчивости содержания белка в зерне обусловлено изменениями урожайности. При увеличении белка в зерна на 1% урожайность зерна снижается на 1,8 т/га, что согласуется с исследованиями различных ученых (Пономарев и др., 2021; Крупнова, 2009). Согласно О.В. Крупновой (2009), эта связь обусловлена различными факторами, в том числе недостатком доступного азота в почве, неполном его поглощении в процессе вегетации растений по ряду причин (стресс-факторы, ограниченный генетический потенциал), неполной реутилизацией азота из вегетативных частей в зерно, прекращение поглощения азота из почвы из-за старения растений т.д.

Однако, среднесортные значения показателей в 2022 г., когда урожайность имела значения 11,67 т/га, а содержание белка в зерне 14,09%, что говорит о возможности сочетания высоких значений этих двух показателей в одном сорте. Так, в среднем за 2021–2025 гг. сочетание высокой урожайности и содержания белка отмечено у сортов Агат донской (9,29 т/га и 14,62%) и Придонье (9,81 т/га и 14,20%).

Выводы. По урожайности зерна выделились сорта Динас, Эллада, Агат донской, Графит и Придонье, превысившие стандарт на 0,92–1,55 т/га или на 11,1–18,8%. По содержанию белка в зерне максимальные значения отмечены у сортов Хризолит (14,80%), Амазонка (14,87%), Диона (14,91%). Наибольшее содержание белка по сортам в зерне отмечено в

2021 (15,01%), 2023 (14,89%) и 2025 (14,67%) годах, характеризующихся средним и недостаточным увлажнением. Наибольшая продуктивность отмечена в 2022 и 2024 гг. (11,67 и 9,78 т/га).

Коэффициент варьирования по признаку «содержание белка в зерне» (4,44–8,39%) указывает на стабильность показателя у данного набора сортов озимой твердой пшеницы. Варьирование сортов по годам составило от 15,25 до 29,32%, что говорит о значительной изменчивости данного показателя.

Корреляционно-регрессионный анализ указывает на сильную положительную связь ГПК_{апрель-июль} с содержанием белка ($r=0,98\pm0,11$) и средней отрицательной связи с урожайностью ($-0,52\pm0,46$). Фактор «год» оказывает наибольшее влияние (62,3%) на изменчивость признака «содержание белка в зерне», а на урожайность зерна – 87,9%.

При увеличении белка в зерна на 1% урожайность зерна изучаемых сортов озимой твердой пшеницы снижается на 1,8 т/га. Сочетание высоких значений урожайности (11,67 т/га) и содержания белка в зерне (14,09%) в 2022 г. говорит о возможности улучшения двух показателей в одном сорте. Сочетание высокой урожайности и содержания белка отмечено у сортов Агат донской (9,29 т/га и 14,62%) и Придонье (9,81 т/га и 14,20%).

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № FNFN-2026-006).

Библиографический список

1. Иванисова А.С., Марченко Д.М., Дубинина О.А., Майдабуро Л.И., Кравченко Н.С. Физико-химические свойства зерна перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы в условиях юга Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 5. С. 46–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-46-51
2. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Оценка новых перспективных сортов и гибридов сорговых культур // Кормопроизводство. 2025. № 7. С. 5–10. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-7-5-10
3. Крупнова О.В. О взаимосвязи урожайности с содержанием белка в зерне у зерновых и бобовых культур // Сельскохозяйственная биология. 2009. №3. С.13–23.
4. Пономарев С.Н., Пономарева М.Л., Маннапова Г.С., Илалова Л.В. Урожайности и содержание белка в зерне коллекционных образцов озимой тритикале // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. №22(4). С. 495–506. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.495-506
5. Рыбась И.А., Иванисов М.М., Марченко Д.М., Киринов А.В. Влияние условий среды на формирование урожайности сортов озимой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 2(38). С. 129–139. DOI: 10.5281/zenodo.12200256
6. Шрам Н.В., Келер В.В., Хижняк С.В., Овсянкина С.В. Влияние погодных условий на накопление белка в зерне мягкой яровой пшеницы // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2023. № 4 (73). С. 29–37. DOI: 10.34655/bgsha.2023.73.4.004
7. Beres B.L., Rahmani E., Clarke J.M., Grassini P., Pozniak C.J., Geddes C.M., Porker K.D., May W.E., Ransom J.K. A Systematic Review of Durum Wheat: Enhancing Production Systems by Exploring Genotype, Environment, and Management (G × E × M) Synergies // Front. Plant Sci. 2020. №11: 568657. DOI: 10.3389/fpls.2020.568657
8. Giunta F., Bassu S., Mefleh M., Motzo R. Is the Technological Quality of Old Durum Wheat Cultivars Superior to That of Modern Ones When Exposed to Moderately High Temperatures during Grain Filling? // Foods. 2020. №9 (6): 778. DOI: 10.3390/foods9060778
9. Han P., Wang Y., Sun H. Impact of Temperature Stresses on Wheat Quality: A Focus on Starch and Protein Composition // Foods. 2025. №14, 2178. DOI: 10.3390/foods14132178
10. Vensel W. Protein Accumulation and Composition in Wheat Grains: Effects of Mineral Nutrients and High Temperature // European Journal of Agronomy, 2006. DOI: 10.1016/J.EJA.2006.04.003
11. Wieser H., Koehler P., Scherf K.A. Chemistry of wheat gluten proteins: Quantitative composition // Cereal Chemistry. 2023. №100: 36–55. DOI: 10.1002/cche.10553

References

1. Ivanisova A.S., Marchenko D.M., Dubinina O.A., Majdaburo L.I., Kravchenko N.S. Fiziko-himicheskie svoystva zerna perspektivnykh sortov i liniy ozimoy tverdoj pshenicy v usloviyakh yuga Rostovskoy oblasti [Physicochemical properties of grain of promising winter durum wheat varieties and lines in the south of the Rostov region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2024. T. 16, № 5. S. 46–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-94-5-46-51
2. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V. Ocenka novykh perspektivnykh sortov i gibridov sorgovykh kul'tur [Estimation of new promising sorghum varieties and hybrids] // Kormoproizvodstvo. 2025. № 7. S. 5–10. DOI: 10.30906/1562-0417-2025-7-5-10
3. Krupnova O.V. O vzaimosvyazi urozhajnosti s soderzhaniem belka v zerne u zernovykh i bobovykh kul'tur [On the correlation between productivity and protein percentage in grain of cereals and legumes] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2009. №3. S.13–23.
4. Ponomarev S.N., Ponomareva M.L., Mannapova G.S., Ilalova L.V. Urozhajnosti i sodrezhanie belka v zerne kollekcionnykh obrazcov ozimoy tritikale [Productivity and protein percentage in grain of the collection winter tritikale samples] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2021. №22(4). S. 495–506. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.495-506
5. Rybas I.A., Ivanisov M.M., Marchenko D.M., Kirin A.V. Vliyanie uslovij sredy na formirovaniye urozhajnosti sortov ozimoy pshenicy [The effect of environmental conditions on the formation of productivity of winter wheat varieties] // Tavricheskij vestnik agrarnoy nauki. 2024. № 2(38). S. 129–139. DOI: 10.5281/zenodo.12200256
6. SHram N.V., Keler V.V., Hizhnyak S.V., Ovsyankina S.V. Vliyanie pogodnykh uslovij na nakoplenie belka v zerne myagkoj yarovoj pshenicy [The effect of weather conditions on protein accumulation in spring common wheat grain] // Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skohozyajstvennoy akademii imeni V.R. Filippova. 2023. № 4 (73). S. 29–37. DOI: 10.34655/bgsha.2023.73.4.004
7. Beres B.L., Rahmani E., Clarke J.M., Grassini P., Pozniak C.J., Geddes C.M., Porker K.D., May W.E., Ransom J.K. A Systematic Review of Durum Wheat: Enhancing Production Systems by Exploring Genotype, Environment, and Management (G × E × M) Synergies // Front. Plant Sci. 2020. №11: 568657. DOI: 10.3389/fpls.2020.568657
8. Giunta F., Bassu S., Mefleh M., Motzo R. Is the Technological Quality of Old Durum Wheat Cultivars Superior to That of Modern Ones When Exposed to Moderately High Temperatures during Grain Filling? // Foods. 2020. №9 (6): 778. DOI: 10.3390/foods9060778
9. Han P., Wang Y., Sun H. Impact of Temperature Stresses on Wheat Quality: A Focus on Starch and Protein Composition // Foods. 2025. №14, 2178. DOI: 10.3390/foods14132178
10. Vensel W. Protein Accumulation and Composition in Wheat Grains: Effects of Mineral Nutrients and High Temperature // European Journal of Agronomy, 2006. DOI:10.1016/J.EJA.2006.04.003
11. Wieser H., Koehler P., Scherf K.A. Chemistry of wheat gluten proteins: Quantitative composition // Cereal Chemistry. 2023. №100: 36–55. DOI:10.1002/cche.10553

Поступила: 06.04.26; доработана после рецензирования: 18.05.26; принята к публикации: 19.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Ковтунова Н.А., Марченко Д.М. – концептуализация исследований, подготовка рукописи, Иванисова А.С., Дубинина О.А. – закладка и выполнение полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УКОРЕНЕНИЕ *IN VITRO* НЕКОТОРЫХ ВИДОВ *THYMUS L.*

А. Ш. Тевфик, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений, ORCID ID: 0000-0001-8359-2926;

Н. А. Егорова, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501.

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: tevfik.arzy@yandex.ru

На сегодняшний день в селекции многих сельскохозяйственных культур для получения исходного материала с ценными признаками интенсивно внедряются методы биотехнологии, в частности клональное микроразмножение, которое позволяет быстро размножить и оздоровить ценный посадочный материал. Цель исследования - оптимизация условий эффективного укоренения *in vitro* для разработки методики клонального микроразмножения 7 видов тимьяна. В статье представлен сравнительный анализ культивирования эксплантов *Thymus x citriodorus* (Pers.) Schreb., *T. marschallianus* Willd., *T. tauricus* Klov et Des.-Shost., *T. serpyllum* L., *T. vulgaris* L., *T. pseudonummularius* Klov. et Schost., *T. caucasicus* Willd. на различных вариантах питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) на 2-м этапе собственно микроразмножения и на 3-м этапе укоренения *in vitro*. При анализе развития эксплантов *T. caucasicus*, *T. tauricus*, *T. pseudonummularius* на 2 этапе на среде МС с 1,0 мг/л кинетина и 20 г/л сахарозы была выявлена высокая частота укоренения (80,8–91,1 %) и число корней (3,8–6,6 шт./побег), что свидетельствует о возможности исключения специального этапа укоренения у этих трех видов тимьяна. На 3-м этапе при культивировании эксплантов (сегментов стебля с узлом) на средах с разными концентрациями ауксинов (ИУК, ИМК и НУК) установлено, что большую ризогенную способность проявила ИМК. Оптимальной для укоренения *T. serpyllum*, *T. x citriodorus* и *T. vulgaris* была среда ½ МС с 1,0 мг/л ИМК, на которой получено 89,5–98,6 % укорененных микропобегов без витрификации, имеющих от 9,2 до 10,7 корней. Для *T. marschallianus* максимальная частота ризогенеза (84,8 %) и формирование нормально развитых микропобегов отмечено на среде ½ МС с 0,5 мг/л НУК и 20 г/л глюкозы.

Ключевые слова: тимьян, клональное микроразмножение, ризогенез, эксплант, генотип, регуляторы роста.

Для цитирования: Тевфик А.Ш., Егорова Н.А. Укоренение *in vitro* некоторых видов *Thymus L.* // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №3. С. 63-71. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-63-71.

IN VITRO ROOTING OF SOME *THYMUS L.* SPECIES

A.Sh. Tevfik, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for biotechnologies of plants, ORCID ID: 0000-0001-8359-2926;

N.A. Egorova, main researcher of the laboratory for biotechnologies of plants, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501.

FSBSI "Research Institute of Agriculture in Crimea", 295493 Russian Federation, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Str., 150; e-mail: tevfik.arzy@yandex.ru

Today, biotechnology methods are being intensively introduced into the breeding of many agricultural crops to obtain initial material with valuable traits, in particular clonal micropropagation, which allows rapidly propagating and improving valuable planting material. The purpose of the current study was to optimize the conditions for effective *in vitro* rooting for the development of a method for clonal micropropagation of 7 thyme species. The current paper has presented a comparative analysis of the cultivation of explants of *Thymus x citriodorus* (Pers.) Schreb., *T. marschallianus* Willd., *T. tauricus* Klov et Des.-Shost., *T. serpyllum* L., *T. vulgaris* L., *T. pseudonummularius* Klov. et Schost., *T. caucasicus* Willd. on different variants of the Murashige and Skoog (MS) nutrient medium at the 2nd stage of micropropagation itself and at the 3rd stage of *in vitro* rooting. When analyzing the development of *T. caucasicus*, *T. tauricus*, and *T. pseudonummularius* explants at the 2nd stage on MS medium with 1.0 mg/l of kinetin and 20 g/l of sucrose, there have been established a high rooting rate (80.8–91.1%) and root number (3.8–6.6 pcs./shoot), indicating the possibility to exclude a special rooting stage in these three thyme species. At the 3rd stage, when cultivating explants (stem segments with a node) on media with different auxin concentrations (IAA, IMC, and NAA), there has been established that IMC exhibited greater rhizogenic capacity. The optimal medium for rooting of *T. serpyllum*, *T. x citriodorus*, and *T. vulgaris* was ½ MS with 1.0 mg/l of IMC, on which there were obtained 89.5–98.6% of rooted microshoots without vitrification, having from 9.2 to 10.7 roots. For *T. marschallianus*, the ½ MS medium with 0.5 mg/l of NUK and 20 g/l of glucose provided the maximum rhizogenesis rate (84.8%) and the formation of normally developed microshoots.

Keywords: thyme, clonal micropropagation, rhizogenesis, explant, genotype, growth regulators.

Введение. Тимьян (*Thymus* L.) принадлежит к семейству Яснотковых (Lamiaceae) и издавна культивируется по всему миру как лекарственное растение. В настоящее время некоторые из них, например, *Thymus serpyllum* L. и *Thymus vulgaris* L. включены в Фармакопею РФ и в Европейскую Фармакопею (Kosakowska, et al., 2022). Некоторые виды тимьяна являются эндемиками в нашей стране (Васюков, 2022). Широкое распространение это растение получило благодаря наличию ценного эфирного масла (1-2,5 %), основным фенольным компонентом которого является тимол, обладающий бактерицидным и фунгицидным эффектом. Эфирное масло тимьяна имеет множество терапевтических применений, включая спазмолитическое, ветрогонное, антисептическое, противовоспалительное, противоревматическое, антиоксидантное и отхаркивающее (Kadam et al., 2022; Kosakowska et al., 2022). Согласно имеющимся данным, оно входит в десятку лучших эфирных масел, играющих значительную роль на развивающемся мировом рынке. Кроме того, известно его использование в пищевой (для приготовления напитков, как пряность и натуральный консервант), а также косметической и фармацевтической промышленности (Kadam et al., 2022).

В настоящее время для повышения эффективности селекции и семеноводства растений и переходу к высокопродуктивному сельскохозяйственному производству нередко привлекаются современные биотехнологические методы. Известно, что клональное микроразмножение способствует сохранению генетической однородности и оздоровлению посадочного материала при большом коэффициенте размножения по сравнению с традиционным черенкованием в полевых условиях (Егорова, 2021; Kulus and Tymoszuk, 2024). Этот метод размножения *in vitro* состоит из 4 этапов: введение в асептическую культуру, собственно микроразмножение, укоренение и адаптация к нестерильным условиям выращивания. У растений, полученных *in vitro*, часто формируется недостаточно функционирующая корневая система, что затрудняет поглощение необходимого количества воды и питательных элементов для нормальной транспирации, а в последующем активного роста и развития. Поэтому одним из важнейших этапов клонального микроразмножения является ризогенез *in vitro*, так как от успеха его реализации зависит следующий, 4 этап адаптации микрорастений *ex vitro*, и как следствие, эффективность всей технологии и себестоимость посадочного материала. Частота корнеобразования и морфология корней в значительной степени зависят от состава питательной среды, в частности, типа и концентраций ауксина. Чаще всего для этих целей используют индолил-3-масляную кислоту (ИМК), индолил-3-уксусную кислоту (ИУК) и 1-нафтилуксусную кислоту (НУК). Есть данные, в которых описывается укоренение растений, полученных *in vitro*, непосредственно в стерильном субстрате, но чаще всего приживаемость микрорастений при этом очень низкая (Терещенко и Жолобова, 2025).

Некоторые ученые выявили, что для 2 и 3 этапа (собственно микроразмножения и укоренения *in vitro*) достаточно питательной среды одного состава (Ansari et al., 2019). Так, Asensio и др. (2022) на среде

МС, содержащей 0,2 мг/л 2-иР (2-изопентил) аденин, получили высокий коэффициент размножения (20,8) и достаточное число корней (5,4 шт./эксплант), длиной 1,6 см. В работе El Ansari и др. (2020) представлены данные о максимальной частоте укоренения, количества и длины корней *Thymus pallidus* на питательной среде МС с добавлением 0,1 мг/л кинетина и 0,5 мг/л ИУК, используемой авторами также для собственно микроразмножения. Исследования иранских ученых (Moradi et al., 2024) показали, что питательная среда с 1,0 мг/л кинетина и 0,3 мг/л ГК₃ вызывала аналогичную эффективность. Подобные результаты экспериментов, когда ризогенез индуцировали на той же среде, что и собственно микроразмножение (на средах без ауксинов), были получены Maboṭja с коллегами (2025) у *Thymus vulgaris* L. и Nordine (2025) на безгормональной питательной среде у нескольких видов тимьяна – *T. hymenalis* Lange, *T. broussonetii* Boiss, *T. bleicherianus* Pomel, *T. satureioides* Coss.

Индийские ученые в своих исследованиях, касающихся культивирования *Thymus serpyllum* L. в культуре *in vitro* на среде МС с 1,0 мг/л ИМК, получили 11,7 корней/побег длиной 3,9 см (Khajuria et al., 2020). В работе греческих ученых (Tsoktouridis et al., 2019) упоминается о максимальных показателях ризогенеза при использовании большей концентрации ИМК (2,0 мг/л). Некоторые ученые в своих исследованиях на этапе укоренения сталкивались с таким негативным явлением, как витрификация микропобегов (Ansari et al., 2020), которое препятствует нормальному росту и развитию растения, а в последующем и адаптации к нестерильным условиям выращивания. В наших предыдущих исследованиях у некоторых видов тимьяна на этапе собственно микроразмножения тоже наблюдали образование оводненных побегов (Егорова и Тевфик, 2023).

Целью настоящего исследования является оптимизация условий эффективного укоренения *in vitro* для разработки методики клонального микроразмножения 7 видов тимьяна.

Материалы и методы исследований. Материалом служили ткани и органы тимьяна лимоннопахнущего (*Thymus x citriodorus* (Pers.) Schreb., сорт Doone Valley), тимьяна Маршалла (*T. marschallianus* Willd.), тимьяна крымского (*T. tauricus* Klovov et Des.-Shost.), тимьяна ползучего (*T. serpyllum* L.), тимьяна обыкновенного (*T. vulgaris* L.), тимьяна ложномонетного (*T. pseudonummularius* Klok. et Schost.) и тимьяна кавказского (*T. caucasicus* Willd.) из коллекции эфиромасличных, пряно-ароматических и лекарственных растений [https://ckp-rf.ru/usu/507515] ФГБУН «НИИСХ Крыма». В работе использовали общепринятые методы культуры органов и тканей растений (Kulus and Tymoszuk, 2024), а также разработанные для некоторых видов эфиромасличных растений (Егорова, 2021). В качестве эксплантов в экспериментах по анализу ризогенеза использовали сегменты стебля с одним узлом, полученные при микрочеренковании размноженных *in vitro* растений. Экспланты культивировали на различных модификациях питательной среды Мурасиге и Скуга (МС) с добавлением кинетина (Кин), тидиазурина (ТДЗ), гибберелловой кислоты (ГК₃) (CDH, Индия),

бензиламинопурина (БАП) (NeoFroxx, Германия), индолил-3-масляной кислоты (ИМК), индолил-3-уксусной кислоты (ИУК), 1-нафтилуксусной кислоты (НУК) (Merck, Германия). На этапе введения и собственно микроразмножения для большинства видов тимьяна использовали питательную среду МС с 1,0 мг/л кинетина. Исключение составили *T. serpyllum* (МС с 1,0 мг/л БАП) и *T. x citriodorus* – МС без регуляторов роста (БГ). В качестве культурального сосуда на 2-ом и 3-ем этапе клонального микроразмножения у всех видов использовали банки, закрытые фольгой, а у *T. tauricus* – колбы с ватно-марлевыми пробками. В каждый культуральный сосуд (с 40 мл питательной среды) помещали 4 экспланта, из расчета 10 мл среды/эксплант. Культивирование проводили при температуре 24–26°C, относительной влажности воздуха 70 % и освещенности 2–3 тысячи люкс с фотопериодом 16 часов. Анализ морфометрических параметров развивающихся побегов проводили на 35–40 сут культивирования. При этом определяли частоту корнеобразования у микропобегов и формирования оводненных побегов, количество и длину корней, длину побегов.

В статье представлено 3 опыта. В 1-ом опыте (спонтанное укоренение микропобегов на среде МС без ауксинов, на этапе собственно микроразмножения) изучали влияние состава питательной среды (среда МС без регуляторов роста и среды МС с добавлением в концентрации 1,0 мг/л трех цитокининов по отдельности: кинетина, БАП и ТДЗ) и генотипа (7 видов тимьяна: *T. x citriodorus*, *T. marschallianus*, *T. tauricus*, *T. serpyllum*, *T. vulgaris*, *T. pseudonummularius*, *T. caucasicus*). Во 2-ом опыте (специальный 3 этап клонального микроразмножения) изучали влияние состава питательной среды (среда МС без регуляторов роста и с добавлением в среду МС или ½ МС одного из трех ауксинов: 1,0 мг/л ИУК, 1,0 мг/л ИМК и 0,5 мг/л НУК) и генотипа (7 видов тимьяна: *T. x citriodorus*, *T. marschallianus*, *T. tauricus*, *T. serpyllum*, *T. vulgaris*, *T. pseudonummularius*, *T. caucasicus*). В 3-ем опыте подбирали оптимальный состав питательной среды для укоренения *in vitro* *T. marschallianus*. Для этого использовали среду МС, а также ½ МС с 0,5 мг/л НУК или 1,0 мг/л кинетина (в качестве источника углерода использовали 20 г/л глюкозы или сахарозы).

В каждом варианте опыта анализировали не менее 20 эксплантов, повторность опыта 2–3-х кратная. Статистическую обработку данных проводили согласно стандартным методам, с использованием пакета программ Microsoft Office (Excel 2010).

Результаты и их обсуждение. Укоренение микропобегов *in vitro* один из сложных этапов клонального микроразмножения. Однако нередко удается избежать специального этапа ризогенеза (что позволяет сократить и упростить методику микроразмножения), если микрорастения укореняются уже на этапе собственно микроразмножения (Ansari et al., 2019). Таким образом, при культивировании некоторых видов растений на определенных средах есть возможность получить как максимальный коэффициент размножения, так и достаточное количество корней для последующей адаптации *ex vitro*. Поэтому при изучении возможности

корнеобразования у семи видов тимьяна мы вначале проанализировали развитие эксплантов на втором этапе микроразмножения на средах с цитокининами.

Как показали наши предыдущие исследования на этапе собственно микроразмножения в качестве культурального сосуда предпочтительно использовать банки у всех видов тимьяна, кроме *T. tauricus* (Егорова и Тевфик, 2023). Поэтому на этапе укоренения для этих 6 видов были использованы только банки, а для *T. tauricus* – колбы.

Как видно из данных, представленных в табл. 1, в отдельных вариантах опыта при длительном культивировании (в течение 70 суток) на этапе собственно микроразмножения происходило формирование корней с частотой до 91,1 %. Максимального значения у некоторых изученных видов этот показатель достигал на среде с кинетином. Так, у *T. tauricus* на этой среде отметили повышение частоты корнеобразования в 1,3 раза, у *T. pseudonummularius* – в 1,5 раз по сравнению с безгормональной средой.

Следует отметить, что при использовании двух других цитокининов тидиазурона (ТДЗ) и бензиламинопурина (БАП) количество микропобегов, образовавших корни, не превышало 42,1%, а в некоторых вариантах опыта ризогенез не наблюдался.

Немаловажное значение при укоренении имеет также и длина побегов, так как этот параметр влияет на успешность адаптации *ex vitro*. Так, судя по данным таблицы 1, у *T. tauricus*, *T. caucasicus*, *T. vulgaris* и *T. pseudonummularius* формировались относительно длинные микропобеги (3,1–3,7 см) на средах с кинетином. Использование безгормональной среды у этих видов снижало длину микропобегов в 1,1–1,4 раза, а использование других цитокининов – в 1,6–3,0 раза при сопоставлении с кинетином. Однако, при культивировании микропобегов *T. x citriodorus* было выявлено, что добавление цитокининов в состав питательной среды ингибировало их развитие и длина снизилась в 3,2–9,0 раз по сравнению со средой без регуляторов роста. Следует отметить, что у *T. marschallianus* этот параметр не превышал 0,9 см.

Состав регуляторов роста оказывал существенное влияние на частоту укоренения. Так, добавление БАП у *T. caucasicus* и *T. tauricus* или ТДЗ во всех вариантах опыта кроме *T. vulgaris* полностью исключило корнеобразование у микропобегов. Снижение частоты укоренения на среде с БАП по сравнению с безгормональной питательной средой отметили у *T. x citriodorus* (в 4,6 раза), *T. pseudonummularius* (в 3,4 раза), *T. serpyllum* (в 2,4 раза) и *T. vulgaris* (в 1,6 раз).

Максимальное количество побегов на эксплант в большинстве вариантов эксперимента было получено на среде с кинетином. Так, использование этого цитокинина позволило повысить этот показатель в 1,1–1,9 раз по сравнению со средой без регуляторов роста. Исключение составил *T. x citriodorus*, у которого отметили обратную тенденцию при сравнении этих двух вариантов сред. В частности, количество корней было выше в 1,3 раза, а их длина – в 1,9 раз на безгормональной среде по сравнению со средой с кинетином. При этом у остальных видов тимьяна не было выявлено существенной разницы при сравнении длины корней.

Таблица 1. Основные параметры развития эксплантов тимьяна в зависимости от генотипа и состава питательной среды на 2-ом этапе микроразмножения (70 сут.)

Table 1. Primary parameters of thyme explant development depending on a genotype and nutrient medium composition at the 2nd stage of micropropagation (70 days)

Регуляторы роста в среде МС, мг/л	<i>T. serpullum</i>	<i>T. caucasicus</i>	<i>T. vulgaris</i>	<i>T. tauricus</i>	<i>T. pseudonummularius</i>	<i>T. marschallianus</i>	<i>T. x citriodorus</i>
Длина побега, см							
МС (бг)	1,9±0,2	3,1±0,3	2,6±0,2	3,5±0,1	3,7±0,2	0,6±0,2	3,6±0,4
Кин – 1,0	1,9±0,2	3,9±0,4	3,6±0,3	4,0±0,2	3,9±0,1	0,9±0,2	1,1±0,1
БАП – 1,0	1,7±0,6	2,7±0,3	1,8±0,2	2,5±0,1	1,3±0,3	0,8±0,1	0,4±0,2
ТДЗ – 1,0	0,7±0,1	1,6±0,2	1,2±0,1	1,7±0,2	0,8±0,1	0,4±0,1	0,6±0,2
Частота ризогенеза, %							
МС (бг)	31,1±3,6	82,5±8,6	66,8±6,9	68,8±6,1	52,6±5,0	14,7±1,5	81,1±3,6
Кин – 1,0	22,3±1,8	83,3±5,6	62,3±6,1	91,1±9,1	80,8±3,6	10,3±1,1	35,7±3,1
БАП – 1,0	13,2±1,1	0	42,1±4,1	0	13,3±1,6	15,8±1,6	17,8±0,2
ТДЗ – 1,0	0	0	9,6±1,1	0	0	0	0
Количество корней, шт./побег							
МС (бг)	3,3±0,3	4,6±0,6	3,7±0,5	2,9±0,5	3,5±0,3	1,9±0,2	3,3±0,3
Кин – 1,0	3,1±0,3	6,6±0,4	4,2±0,4	5,6±0,5	3,8±0,1	2,5±0,2	2,5±0,2
БАП – 1,0	1,2±0,1	0	3,3±0,4	0	3,2±0,3	2,2±0,3	2,3±0,2
ТДЗ – 1,0	0	0	1,1±0,1	0	0	0	0
Длина корня, см							
МС (бг)	1,4±0,1	2,7±0,2	2,4±0,2	2,3±0,1	2,4±0,2	1,3±0,2	2,4±0,1
Кин – 1,0	1,6±0,1	2,9±0,2	2,1±0,2	2,6±0,2	2,4±0,1	1,8±0,2	1,3±0,1
БАП – 1,0	2,0±0,2	0	2,2±0,2	0	2,4±0,3	1,2±0,1	1,6±0,2
ТДЗ – 1,0	0	0	2,0±0,2	0	0	0	0

На параметры корнеобразования существенное влияние оказывал вид тимьяна. Так, максимальные частота ризогенеза (91,1%) была отмечена у *T. tauricus*, а количество корней (6,6 шт./микроразмножение) и их длина (2,9 см) – у *T. caucasicus*. Высокая частота корнеобразования выявлена также у *T. pseudonummularius* (80,8% на среде с 1,0 мг/л кинетина), у *T. x citriodorus* (81,1% на среде без регуляторов роста) и у *T. caucasicus* (82,5 и 83,3 % на среде без регуляторов роста и с 1,0 мг/л кинетина, соответственно). Поэтому у этих 4-х видов можно при необходимости получать укорененные растения с достаточно высокой частотой на 2 этапе клонального микроразмножения. При сопоставлении полученных результатов с литературными данными было выявлено, что у Moradi с сотрудниками (2024) были получены аналогичные результаты на среде МС с 1,0 мг/л кинетина. В работе Asensio и др. (2022) высокие показатели укоренения были получены на среде МС, содержащей 0,2 мг/л 2-иР (2-изопентил) аденина. Ряд авторов сообщают о преимуществе использования безгормональной питательной среды (Mabotja et al., 2025; Nordine, 2025) для укоренения микропобегов на

2-ом и 3-ем этапе клонального микроразмножения.

Учитывая невысокую частоту ризогенеза у ряда видов тимьяна на 2-м этапе микроразмножения, мы проанализировали эффективность этого процесса на специальном 3-м этапе, когда микрочеренки переносили на среды другого состава. Использование питательных сред, содержащих ауксины, способствовало повышению частоты корнеобразования по сравнению с безгормональной средой (рис. 1), а также существенно повысило число формирующихся корней (табл. 2). У *T. tauricus* и *T. pseudonummularius* была получена 100 % частота ризогенеза, независимо от используемого ауксина. Тенденцию повышения укорененных микропобегов у *T. x citriodorus*, *T. vulgaris* и *T. caucasicus* отмечали на среде ½ МС с 1,0 мг/л ИМК по сравнению с другими вариантами сред. Следует отметить, что у трех видов *T. serpullum*, *T. vulgaris* и *T. marschallianus* у которых на 2 этапе была низкая частота ризогенеза (0-66,8 %) только при использовании на 3 этапе сред с ауксинами частота ризогенеза возросла до 75,2–98,6 %.

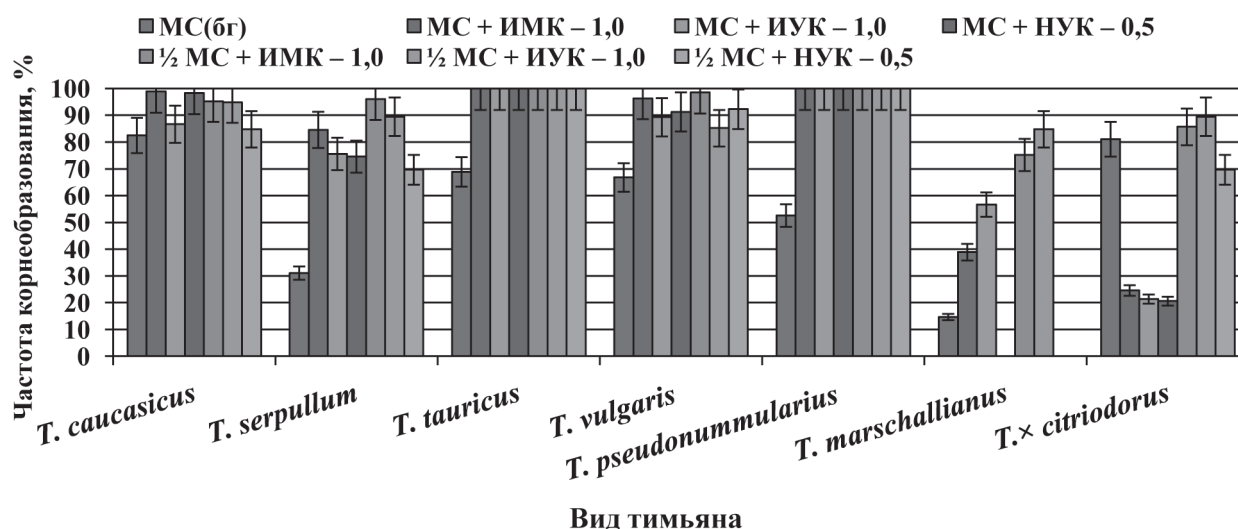


Рис. 1. Частота ризогенеза в зависимости от генотипа и состава питательной среды на 3 этапе клонального микроразмножения *in vitro* тимьяна

Fig. 1. Rhizogenesis rate depending on a genotype and nutrient medium composition at the 3d stage of *in vitro* clonal micropropagation of thyme

Однако, наряду с высокой частотой корнеобразования на питательных средах с ауксинами, в некоторых вариантах наблюдали образование оводненных побегов (табл. 2), что, несомненно, надо учитывать при выборе оптимальной среды. Самую высокую частоту витрификации у четырех видов тимьяна (19,8–82,5 %) отметили на питательных средах с НУК. Установлено, что не все виды тимьяна подвержены этому негативному явлению. Так, у *T. vulgaris*, *T. marschallianus* и *T. x citriodorus* во всех вариантах эксперимента формировались нормальные микрорастения.

Проблема витрификации микропобегов у культивируемых *in vitro* микрорастений заключается в физиологической аномалии развития, характеризующейся избыточной оводненностью. Это вызывает целый комплекс нарушений: недостаточную лигни-

фикацию, дисфункцию устьиц, снижение механической прочности. В результате растения плохо восстанавливаются и впоследствии плохо адаптируются к нестерильным условиям культивирования. Для этой деформации характерен «стекловидный» вид растений с толстым, жестким, легко ломающимся стеблем и листьями, у которых снижено содержание хлорофилла, белка и фенольных соединений, повышено содержание воды и изменен ионный состав. Факторы, влияющие на гипергидратацию растений, выращенных *in vitro*, включают: доступность воды, наличие в питательной среде регуляторов роста, концентрацию минеральных солей (микро- и макроэлементов), микроклимат внутри сосуда для культивирования, а также повышенное содержание этилена в газовой среде (Hazarika, 2006).

Таблица 2. Основные параметры развития эксплантов тимьяна в зависимости от генотипа и состава питательной среды на 3-ом этапе микроразмножения

Table 2. Primary parameters of thyme explant development depending on a genotype and nutrient medium composition at the 3d stage of micropropagation

Регуляторы роста в среде МС, мг/л	<i>T. caucasicus</i>	<i>T. serpullum</i>	<i>T. tauricus</i>	<i>T. vulgaris</i>	<i>T. pseudonummularius</i>	<i>T. marschallianus</i>	<i>T. x citriodorus</i>
Длина побега, см							
МС(6r)	3,1±0,3	1,9±0,2	3,5±0,4	2,6±0,2	3,7±0,2	0,6±0,1	3,6±0,4
МС+Кин-1,0	3,9±0,4	1,9±0,2	4,0±0,4	3,6±0,3	3,9±0,1	0,9±0,1	1,1±0,1
МС+ИМК-1,0	2,0±0,2	3,4±0,3	3,0±0,3	4,0±0,4	3,4±0,1	1,2±0,1	1,4±0,1
МС+ИУК-1,0	2,7±0,3	2,3±0,2	2,2±0,2	2,2±0,2	3,3±0,1	1,2±0,1	1,3±0,1
МС+НУК-0,5	1,3±0,1	1,4±0,1	2,3±0,2	1,3±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1	1,4±0,1
1/2МС+ИМК-1,0	2,2±0,2	4,3±0,5	3,2±0,3	5,2±0,5	4,3±0,4	1,2±0,1	5,3±0,5
1/2МС+ИУК-1,0	2,8±0,3	2,4±0,2	3,0±0,3	2,8±0,2	3,4±0,1	0,8±0,1	1,4±0,1
1/2МС+НУК-0,5	1,4±0,1	1,3±0,1	1,4±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1
Частота оводненных побегов, %							
МС(6r)	0	12,5±1,6	9,8±0,9	0	12,6±1,5	0	0
МС+Кин-1,0	0	10,4±1,1	7,9±0,8	0	12,6±1,5	0	0
МС+ИМК-1,0	59,1±5,1	4,6±0,6	13,7±1,5	0	33,5±3,3	0	0

Продолжение табл. 2

МС+ИУК–1,0	40,4±4,1	1,7±0,2	17,4±1,2	0	32,4±3,3	0	0
МС+НУК–0,5	62,2±6,1	53,3±5,6	32,3±3,1	0	52,4±4,6	0	0
½МС+ИМК–1,0	37,9±0,1	4,3±0,4	9,2±0,7	0	22,8±2,1	0	0
½МС+ИУК–1,0	21,4±2,1	2,0±0,2	12,1±0,9	0	41,4±4,1	0	0
½МС+НУК–0,5	19,8±1,8	82,5±8,6	50,8±5,9	0	52,6±5,0	0	0
Количество корней, шт./побег							
МС(бг)	4,6±0,6	3,3±0,3	2,9±0,6	2,4±0,3	3,5±0,3	2,9±0,1	3,3±0,3
МС+Кин–1,0	6,6±0,6	3,1±0,6	5,6±0,6	4,2±0,4	3,8±0,4	2,5±0,3	2,5±0,2
МС+ИМК–1,0	7,3±0,6	8,5±0,8	7,3±0,8	8,5±0,8	3,0±0,3	2,3±0,3	6,8±0,5
МС+ИУК–1,0	6,2±0,6	5,4±0,6	6,2±0,6	5,4±0,6	2,8±0,3	2,2±0,3	1,7±0,2
МС+НУК–0,5	8,8±0,9	3,4±0,1	8,8±0,9	3,4±0,3	3,5±0,4	0	3,5±0,4
½МС+ИМК–1,0	9,3±1,0	10,7±1,1	9,3±0,9	9,2±0,8	4,3±0,5	2,3±0,3	9,4±0,8
½МС+ИУК–1,0	9,2±0,9	5,7±0,6	9,2±1,0	5,7±0,6	3,8±0,4	3,2±0,4	6,8±0,6
½МС+НУК–0,5	9,6±1,0	2,5±0,3	8,6±0,9	2,5±0,2	7,3±0,9	0	9,3±0,8

Следует отметить, что длина побегов на 3-ем этапе клонального микроразмножения была высокой не во всех вариантах опыта. Так, по результатам таблицы 2 у *T. marschallianus* этот показатель на разных питательных средах варьировал от 0,6 до 1,4 см.

Влияние генотипа на такой важный при индукции ризогенеза параметр, как количество корней на побег, показало, что максимального значения этот

показатель достигал у *T. serpullum* (10,7 шт.). При этом на среде ½ МС с 1,0 мг/л ИМК у большинства генотипов прослеживается тенденция повышения числа корней на микропобег. В то же время у микропобегов *T. marschallianus* образовалось в среднем не более 3,2 корня (среда ½МС+ИУК–1,0). На рисунке 2 продемонстрировано корнеобразование при микроразмножении *in vitro* семи видов тимьяна на оптимальных питательных средах.

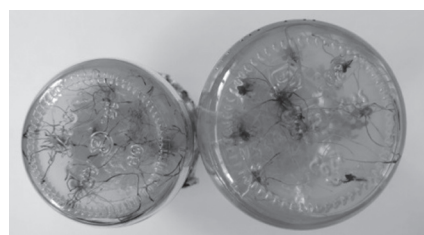
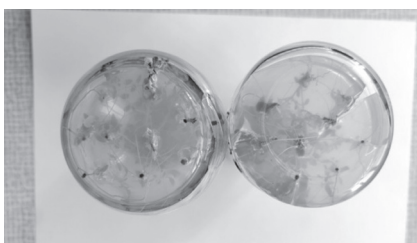
*T. citriodorus**T. serpullum**T. vulgaris**T. marschallianus**T. caucasicus**T. pseudonummularius**T. tauricus*

Рис. 2. Ризогенез микропобегов разных видов тимьяна на 3 этапе клонального микроразмножения
Fig. 2. Rhizogenesis of microshoots of different thyme species at the 3d stage of micropropagation

Анализ морфометрических характеристик укорененных микропобегов *in vitro* показал, что длина корня почти у всех видов тимьяна была выше на среде ½ МС с 1,0 мг/л ИМК (рис. 3). Так, культивирование

на питательной среде с этим ауксином превышало до 1,8 раз длину корней по сравнению с использованием безгормональной среды.

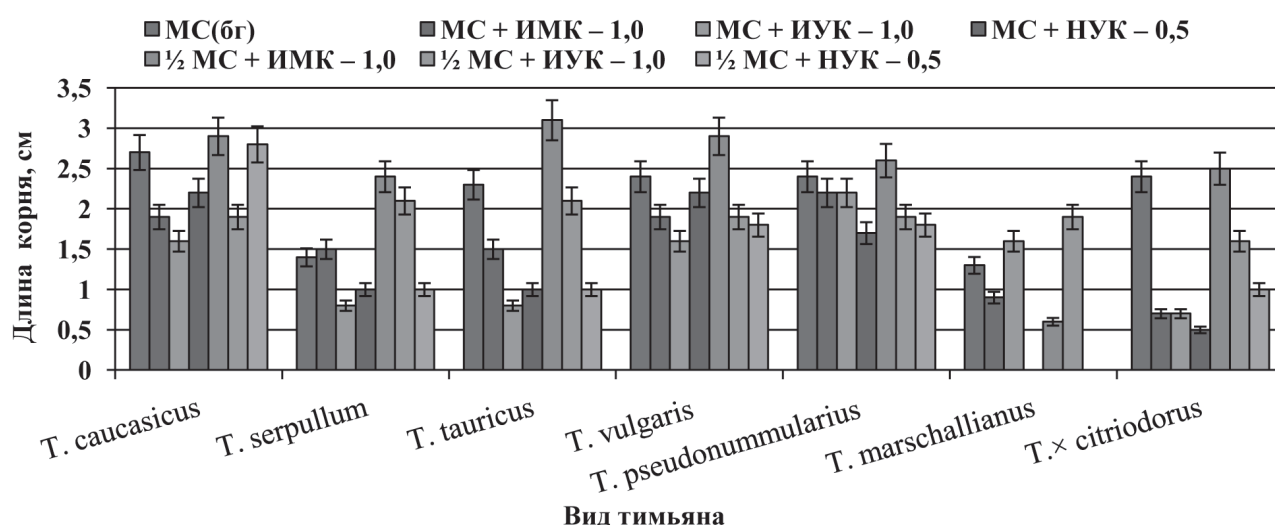


Рис. 3. Влияние генотипа и состава питательной среды на длину корней на 3 этапе клонального микроразмножения *in vitro* тимьяна

Fig. 3. The effect of genotype and nutrient medium composition on root length at the 3d stage of *in vitro* clonal micropropagation of thyme

При анализе всех морфометрических показателей на 3-м этапе микроразмножения показано, что для укоренения *in vitro* некоторых видов тимьяна необходимо использование ауксинов. Так, у *T. serpyllum* существенное увеличение частоты укоренения (до 96%), количества корней (до 10,7 шт./эксплант) и длины корня (2,4 см) отметили на оптимальной среде (½ МС с добавлением 1,0 мг/л ИМК) по сравнению со средой без регуляторов роста. У двух видов *T. x citriodorus* и *T. vulgaris* выявили аналогичную тенденцию повышения этого показателя. Полученные нами в ходе экспериментов данные согласуются с результатами исследований зарубежных авторов для некоторых видов тимьяна. Так Khajuria с коллегами (2020) утверждают о целесообразности использования для укоренения среды МС с 1,0 мг/л ИМК, а в работе Tsoktouridis с сотрудниками (2019) упоминается о максимальных показателях ризогенеза при использовании 2,0 мг/л ИМК.

Следует отметить, что поскольку у *T. caucasicus*, *T. tauricus* и *T. pseudonummularius* при

добавлении в среду ауксинов, наряду с увеличением морфометрических показателей и высокой частотой ризогенеза, происходило формирование большого количества оводненных побегов (до 62,2 %) поэтому их использование нежелательно. Ранее на питательных средах для 2-го этапа микроразмножения у *T. caucasicus*, *T. tauricus* и *T. pseudonummularius* отметили 96,0–100% частоту укоренения и высокое число корней (9,3–10,7 шт./побег) (см. табл. 1). Поэтому для этих видов можно исключить специальный 3 этап размножения, так как было получено достаточное количество корней, и растения пригодны к адаптации к нестерильным условиям выращивания.

Поскольку у *T. marschallianus* формировались слабые невысокие побеги длиной до 1,4 см, то, несмотря на хорошее корнеобразование с частотой до 84,8%, мы сочли необходимым провести дополнительный опыт по оптимизации среды для этапа укоренения (табл. 3). Максимальная частота ризогенеза была отмечена на средах ½ МС с 20 г/л глюкозы (90,3 %) или аналогичной с 0,5 мг/л НУК (91,1 %).

Таблица 3. Влияние состава питательной среды на укоренение *T. marschallianus in vitro*

Table 3. The effect of nutrient medium composition on *in vitro* rooting of *T. marschallianus*

Состав питательной среды МС	Длина побега, см	Частота корнеобразования, %	Количество корней на эксплант, шт.	Длина корня, см
½ МС+0,5 мг/л НУК + 20 г/л сахарозы	1,2±0,2	5,8±0,5	1,4±0,1	1,5±0,1
½ МС+0,5 мг/л НУК + 20 г/л глюкозы	3,4±0,3	91,1±9,1	4,9±0,1	4,5±0,1
½ МС + 20 г/л глюкозы	2,9±0,3	90,3±9,9	5,8±0,6	5,3±0,1
МС + 20 г/л глюкозы	3,5±0,2	65,5±6,7	4,8±0,5	1,0±0,1
½ МС+0,5 мг/л НУК + 1,0 мг/л кин + 20 г/л глюкозы	1,6±0,1	64,3±6,6	4,9±0,5	0,7±0,1
МС+0,5 мг/л НУК + 1,0 мг/л кин + 20 г/л глюкозы	1,9±0,2	50,7±5,3	3,9±0,4	0,5±0,4

Выводы. На основе анализа морфометрических параметров развития эксплантов 7 видов тимьяна выявлено, что у *T. caucasicus*, *T. tauricus*, *T. pseudonummularius* целесообразно объединить 2 этапа клонального микроразмножения (собственно микроразмножения и укоренения) и культивировать экспланты на одной среде МС с 1,0 мг/л Кин и 20 г/л сахарозы. На этой среде отмечена высокая частота ризогенеза 80,8–91,1 % и формирование 3,8–6,6 корня/побег длиной 2,4–2,9 см. Выявлено, что культивирование эксплантов *T. caucasicus*, *T. tauricus*, *T. pseudonummularius* на третьем этапе клонального микроразмножения (½ МС с 1,0 мг/л ИМК и 20 г/л сахарозы) способствовало 100 % укоренению, однако вызывало витрификацию микропобегов (22,8–37,9 %). Установлено, что для остальных изучаемых видов тимьяна эффективно использование питательных сред с ауксинами, что позволило получить высокие показатели ризогенеза

микропобегов (частота 85,7–98,6 %; количество корней 9,2–10,7 шт./побег и длина 2,5–2,9 см) практически без образования оводненных микропобегов. Показано, что оптимальной средой для укоренения *T. serpyllum* L. х *citriodorus* и *T. vulgaris* является ½ МС с 1,0 мг/л ИМК и 20 г/л сахарозы, а для *T. marschallianus* – ½ МС с 0,5 мг/л НУК и 20 г/л глюкозы.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания № FNZW-2022-0008 «Исследование морфогенетических, физиолого-биохимических и молекулярно-генетических особенностей культивируемых тканей, органов и регенерантов для разработки клеточных технологий получения новых генотипов, микроразмножения и создания коллекций эфиромасличных растений *in vitro*» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

Библиографический список

1. Васюков В.М. Обзор рода *Thymus* (Lamiaceae) Российского Кавказа // Ботанический журнал. 2022. Т. 107, № 5. С. 453–465. DOI: 10.31857/s000681362205009x
2. Егорова Н.А. Биотехнология эфиромасличных растений: создание новых форм и микроразмножение *in vitro*. Симферополь: Автограф, 2021. 315 с. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4
3. Егорова Н. А., Тевфик А. Ш. Клональное микроразмножение некоторых видов рода *Thymus* L. // Turczaninowia. 2023. Vol. 26, № 3. С. 5–13. DOI: 10.14258/turczaninowia.26.3.1
4. Терещенко Т. В., Жолобова О. О. Подбор гормонального состава питательной среды на этапе укоренения *Cerasus besseyi* (L.H. Bailey) Smyth. в условиях *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2025. № 2(42). С. 274–285. EDN: BZBXVQ. DOI: 10.5281/zenodo.16564105
5. Asensio E., de Medinacelli Juan-Méndez R., Juan-Vicedo J. *In vitro* propagation and phytochemistry of thymol-producing plants from a horticultural form of *Thymus josephi-angeli* Mansanet & Aguil. (Lamiaceae) // Horticulturae. 2022. Vol. 8, № 1188. DOI: 10.3390/horticulturae8121188
6. El Ansari Z.N., Boussaoudi I., Benkaddour R., Hamdoun O., Lemrini M., Martin P., Badoc A., Lamarti A. Conservation of *Thymus pallidus* Cosson ex Batt. by shoot tip and axillary bud *in vitro* culture. Journal of Plant Biotechnology. 2020. Vol. 47(1). P. 53–65. DOI: 10.5010/JPB.2020.47.1.053
7. El Ansari, Z.N., El Mihyaoui, A., Boussaoudi, I., Benkaddour, R., Hamdoun, O., Tahiri, H., Badoc, A., El Oualkadi, A. and Lamarti, A. Effect of macronutrients, cytokinins and auxins, on *in vitro* organogenesis of *Thymus vulgaris* L. // American Journal of Plant Sciences. 2019. Vol.10. P. 1482-1502. DOI: 10.4236/ajps.2019.109105
8. Khajuria A.K., Bisht N., Bhagat N. *In vitro* organogenesis and plant regeneration of *Thymus serpyllum* L.: an important aromatic medicinal plant. *In vitro* cellular and developmental biology – plant. 2020. Vol. 56, № 5. P. 652–661. DOI: 10.1007/s11627-020-10094-9
9. Kosakowska O., Bączek K., Przybył J.L., Pawełczak A., Rolewska K., Węglarz Z. Morphological and chemical traits as quality determinants of common thyme (*Thymus vulgaris* L.), on the example of 'Standard Winter' cultivar. // Agronomy. 2020. Vol. 10, № 6. P. 1–14. DOI: 10.3390/agronomy10060909
10. Kulus D., Tymoszek A. Advancements in *in vitro* technology: a comprehensive exploration of micropropagated plants // Horticulturae. 2024. Vol. 10, № 88. DOI: 10.3390/horticulturae10010088
11. Kadam S., Kardile O., Kakde P., Supekar A., Mandge R. Review on *Thymus vulgaris* // International journal of novel research and development. 2022. Vol. 7, Iss. 11. P. 204-208.
12. Mabotja M.B., Aremu A.O., Doležal K., Ruzvidzo O., Amoo O. Meta-Topolin as an aromatic cytokinin for *in vitro* propagation of *Thymus vulgaris* L. Plants. 2025. Vol. 14, article number 3567. DOI: 10.3390/plants14233567
13. Moradi A., Yousefshahi B., Ramezan D., Rahimi M., Mohkami Z., Farrokhzad Y. Cultivation of garden thyme plant (*Thymus vulgaris* L.) *in vitro* and investigating the effects of ventilation, silica and sucrose concentration on its growth and development // Journal of Plant Production Research. 2024. Vol. 31(1). P. 23-46.
14. Hazarika B.N. Morpho-physiological disorders in *in vitro* culture of plants // Scientia Horticulturae. 2006. Vol. 108(2). P. 105-120.
15. Nordine A. Trends in plant tissue culture, production, and secondary metabolites enhancement of medicinal plants: a case study of thyme // Planta. 2025. Vol. 261. article number 84. DOI: 10.1007/s00425-025-04655-8
16. Tsoktouridis G., Krigas N., Sarropoulou V., Kampouroulou S., Papanastasi K., Grigoriadou K., Menexes G.C., Maloupa E. Micropropagation and molecular characterization of *Thymus sibthorpii* Benth. (Lamiaceae), an aromatic-medicinal thyme with ornamental value and conservation concern // In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant. 2019. Vol. 55. P. 647–658. DOI: 10.1007/s11627-019-10000-y

References

1. Vasyukov V.M. Obzor roda *Thymus* (Lamiaceae) Rossijskogo Kavkaza [A review of the *Thymus* genus (Lamiaceae) of the Russian Caucasus] // *Botanicheskij zhurnal*. 2022. T. 107, № 5. S. 453–465. DOI: 10.31857/s000681362205009x
2. Egorova N.A. Biotekhnologiya efiromaslichnyh rastenij: sozdanie novyh form i mikrorazmnozhenie in vitro [Biotechnology of essential oil plants: development of new forms and *in vitro* micropropagation]. Simferopol: Avtograf, 2021. 315 s. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-978-5-6045452-9-4
3. Egorova N. A., Tevfik A. SH. Klonal'noe mikrorazmnozhenie nekotoryh vidov roda *Thymus* L. [Clonal micropropagation of some *Thymus* L species] // *Turczaninowia*. 2023. Vol. 26, № 3. С. 5–13. DOI: 10.14258/turczaninowia.26.3.1
4. Tereshchenko T. V., ZHolobova O. O. Podbor gormonal'nogo sostava pitatel'noj sredy na etape ukoreneniya *Cerasus besseyi* (L.H. Bailey) Smyth. v usloviyah in vitro [Selection of the hormonal composition of the nutrient medium during the rooting stage of *Cerasus besseyi* (L.H. Bailey) Smyth. *in vitro* conditions]// *Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki*. 2025. № 2(42). S. 274–285. EDN: BZBXVQ. DOI: 10.5281/zenodo.16564105
5. Asensio E., de Medinacelli Juan-Méndez R., Juan-Vicedo J. In vitro propagation and hytochemistry of thymol-producing plants from a horticultural form of *Thymus josephi-angeli* Mansanet & Aguil. (Lamiaceae) // *Horticulturae*. 2022. Vol. 8, № 1188. DOI: 10.3390/horticulturae8121188
6. El Ansari Z.N., Boussaoudi I., Benkaddour R., Hamdoun O., Lemrini M., Martin P., Badoc A., Lamarti A. Conservation of *Thymus pallidus* Cosson ex Batt. by shoot tip and axillary bud in vitro culture. *Journal of Plant Biotechnology*. 2020. Vol. 47(1). P. 53–65. DOI: 10.5010/JPB.2020.47.1.053
7. El Ansari, Z.N., El Mihyaoui, A., Boussaoudi, I., Benkaddour, R., Hamdoun, O., Tahiri, H., Badoc, A., El Oualkadi, A. and Lamarti, A. Effect of macronutrients, cytokinins and auxins, on in vitro organogenesis of *Thymus vulgaris* L. // *American Journal of Plant Sciences*. 2019. Vol.10. P. 1482-1502. DOI: 10.4236/ajps.2019.109105
8. Khajuria A.K., Bisht N., Bhagat N. In vitro organogenesis and plant regeneration of *Thymus serpyllum* L.: an important aromatic medicinal plant. *In vitro cellular and developmental biology – plant*. 2020. Vol. 56, № 5. P. 652–661. DOI: 10.1007/s11627-020-10094-9
9. Kosakowska O., Bączek K., Przybył J.L., Pawełczak A., Rolewska K., Węglarz Z. Morphological and chemical traits as quality determinants of common thyme (*Thymus vulgaris* L.), on the example of 'Standard Winter' cultivar. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10, № 6. P. 1–14. DOI: 10.3390/agronomy10060909
10. Kulus D., Tymoszek A. Advancements in in vitro technology: a comprehensive exploration of micropropagated plants // *Horticulturae*. 2024. Vol. 10, № 88. DOI: 10.3390/horticulturae10010088
11. Kadam S., Kardile O., Kakde P., Supekar A., Mandge R. Review on *Thymus vulgaris* // *International journal of novel research and development*. 2022. Vol. 7, Iss. 11. P. 204-208.
12. Mabotja M.B., Aremu A.O., Doležal K., Ruzvidzo O., Amoo O. Meta-Topolin as an aromatic cytokinin for in vitro propagation of *Thymus vulgaris* L. *Plants*. 2025. Vol. 14, article number 3567. DOI: 10.3390/plants14233567
13. Moradi A., Yousefshahi B., Ramezan D., Rahimi M., Mohkami Z., Farrokhzad Y. Cultivation of garden thyme plant (*Thymus vulgaris* L.) in vitro and investigating the effects of ventilation, silica and sucrose concentration on its growth and development // *Journal of Plant Production Research*. 2024. Vol. 31(1). P. 23-46.
14. Hazarika B.N. Morpho-physiological disorders in in vitro culture of plants // *Scientia Horticulturae*. 2006. Vol. 108(2). P. 105-120.
15. Nordine A. Trends in plant tissue culture, production, and secondary metabolites enhancement of medicinal plants: a case study of thyme // *Planta*. 2025. Vol. 261. article number 84. DOI: 10.1007/s00425-025-04655-8
16. Tsoktouridis G., Krigas N., Sarropoulou V., Kampouroulou S., Papanastasi K., Grigoriadou K., Menexes G.C., Maloupa E. Micropropagation and molecular characterization of *Thymus sibthorpii* Benth. (Lamiaceae), an aromatic-medicinal thyme with ornamental value and conservation concern // *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant*. 2019. Vol. 55. P. 647–658. DOI: 10.1007/s11627-019-10000-y

Поступила: 10.12.25; доработана после рецензирования: 20.04.26; принята к публикации: 05.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Тевфик А. Ш. – концептуализация идеи, формулировка исследовательских целей и задач, разработка методологии исследования, применение статистических методов для анализа или синтеза данных исследования, сопоставление литературных данных, проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных, подготовка и создание рукописи, Егорова Н. А. – надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество, ответственность за управление и координацию планирования и осуществления научно-исследовательской деятельности, корректировка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОРТОВ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

И.Н. Бесалиев, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом технологии зерновых и кормовых культур, E-mail: orniish_tzk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9389-1938;
Е.А. Иванова, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела технологии зерновых и кормовых культур, E-mail: orniish_tzk@mail.ru, тел. 8-922-539-08-31. ORCID ID: 0009-0009-9260-4955;
А.Л. Панфилов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии зерновых и кормовых культур, E-mail: orniish_tzk@mail.ru, тел. 8-922-558-53-92. ORCID ID: 0000-0002-1210-6350.

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29.

Цель данного исследования – характеристика сортовых различий по показателям качества зерна яровой твёрдой в различные по условиям вегетации годы в засушливой зоне Оренбургского Предуралья. Полевые исследования проведены в 2023–2025 гг. на опытном поле ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН на чернозёмах южных. Изучены сорта оренбургской, самарской, саратовской, итальянской селекции. Количество и качество клейковины в зерне определяли в соответствии с ГОСТ 54478-2011, в муке – по ГОСТ ISO 21415-2-2019. Установлена значительная изменчивость показателя натура зерна в зависимости от метеофакторов и сорта. По данным за 3 года более высоконатурное зерно формируют сорта Безенчукская 210 (731 г/л), Безенчукская золотистая (737 г/л) и Таганрог (739 г/л). Выяснено, что при излишнем количестве осадков на фоне оптимальной температуры воздуха в период налива зерна натура зерна снижается до уровня 4–5 класса и составляет 636–723 г/л. Получена натура зерна 1 класса (770 г/л) у сорта Безенчукская золотистая в 2025 году. Обнаружена общая тенденция снижения стекловидности зерна изученных сортов твёрдой пшеницы до значений 3 класса, обусловленная неблагоприятными условиями периода налива зерна. Установлены наиболее высокие показатели сырой клейковины в муке у сортов Оренбургская 10 (78,5%), Оренбургская 21 (70,4%) и Безенчукская 210 (74,0%), а также сухой клейковины в муке у сортов Оренбургская 10 (24,1 %) и Оренбургская 21 (27,9 %) из урожая 2023 года. Оптимальным требованиям по Глютен-индексу соответствовали показатели сорта Луч 25 по всем годам опытов (68,2–80,8 %), сорта Таганрог в 2024 и 2025 гг. (87,8 и 92,9 %), сорта Мелана в 2024 году (69,3 %) и сорта Безенчукская 205 в 2025 году (81,4 %). Полученные результаты могут быть полезны в селекционной и производственной практиках.

Ключевые слова: яровая твёрдая пшеница, сорт, сухая клейковина, сырая клейковина, Глютен-индекс.

Для цитирования: Бесалиев И.Н., Иванова Е.А., Панфилов А.Л. Качество зерна сортов яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №3. С. 72-79. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-72-79.



GRAIN QUALITY OF SPRING DURUM WHEAT VARIETIES IN THE ORENBURG CIS-URALS

I.N. Besaliev, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the department of technologies for grain and feed crops, E-mail: orniish_tzk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-9389-1938;

E.A. Ivanova, Candidate of Biological Sciences, researcher of the department of technologies for grain and feed crops, E-mail: orniish_tzk@mail.ru, . ORCID ID: 0009-0009-9260-4955;

A.L. Panfilov, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of technologies for grain and feed crops, E-mail: orniish_tzk@mail.ru, . ORCID ID: 0000-0002-1210-6350.

FSSI “Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences” 460000, Orenburg region, Orenburg, 9 January Str., 29.

The purpose of the current study was to characterize varietal differences according to the grain quality indicators of spring durum wheat during the years with different growing conditions in the arid zone of the Orenburg Cis-Urals. The trials were conducted at the experimental field with southern blackearth of the FSSI FRC BST RAS in 2023–2025. There have been studied the varieties developed in Orenburg, Samara, Saratov, and Italy. The quantity and quality of gluten in grain were estimated according to GOST 54478-2011, and according to GOST ISO 21415-2-2019 in flour. There has been found a significant variability in grain density depending on weather factors and a variety. According to three-year data, the varieties Bezenchukskaya 210 (731 g/l), Bezenchukskaya Zolotistaya (737 g/l), and Taganrog (739 g/l) have produced heavier kernels with more grain nature weight. There has been found that, with excessive precipitation and optimal air temperatures during the grain-filling period, grain nature weight decreases to the 4–5 class, reaching 636–723 g/l. Grain units of the 1st class (770 g/l) was obtained from the variety Bezenchukskaya Zolotistaya in 2025. There has been identified a general trend for grain hardness to decrease to the 3d class among the studied durum wheat varieties, caused by unfavorable

weather conditions during the grain-filling period. There have been established the highest levels of crude gluten in flour of the varieties Orenburgskaya 10 (78.5%), Orenburgskaya 21 (70.4%) and Bezenchukskaya 210 (74.0%), as well as dry gluten in flour of the varieties Orenburgskaya 10 (24.1%) and Orenburgskaya 21 (27.9%) harvested in 2023. The variety Luch 25 has met the optimal gluten index requirements with 68.2–80.8% during all years of trials, the variety Taganrog with 87.8 and 92.9% in 2024 and 2025, the variety Melyana with 69.3% in 2024, and the variety Bezenchukskaya 205 with 81.4% in 2025. The obtained results may be useful for breeding and production practices.

Keywords: *spring durum wheat, variety, dry gluten, crude gluten, Gluten index.*

Введение. Яровая твёрдая пшеница является основной культурой для приготовления макаронных изделий. В Оренбургской области производится 28,6 % от общего валового сбора её зерна в России и 65,4 % – от валового сбора в Приволжском федеральном округе (Мухитов Л.А. и др., 2021).

Урожайность данной культуры в последние годы отличалась неустойчивостью, существенно варьировала и при средней урожайности за 32 года в 11,7 ц с 1 га минимальная опускалась до 3,5 ц с 1 га в засушливые годы, а максимальная составляла 35,0 ц с 1 га в наиболее благоприятные годы (Бесалиев И.Н. и др., 2024). Качество зерна твёрдых сортов пшеницы в значительной степени определяется погодными факторами. Особенно отрицательно влияют высокие температуры воздуха, в частности, максимальные дневные их значения более 30 °C (Fleitas et al., 2020). При этом на индекс клейковины в целом они влияют отрицательно, а на цветность крупы – положительно (Gyula Vida et al 2021). Условия окружающей среды по оценке (Virginia Garcia-Calabresi et al., 2025) определяют также физические характеристики зерна, а на силу клейковины, желтизну крупы и содержание арабосилана сильное влияние оказывает генотип. Генетическое разнообразие и различия между сортами в условиях изменения климата важны для устойчивого производства, считают Jlassi J et al., 2021. В тоже время различия между сортами по показателю Глютен – индекса могут уменьшиться под влиянием агротехнических приёмов в условиях климатических изменений, считают Mastilovic et al., 2018. В более ранних исследованиях (Бесалиев И.Н. и др., 2020) нами установлено, что влияние факторов периода налива в значительной мере определяют стекловидность зерна (65,1 %), его натуру (89,8 %) и содержание клейковины (72,5 %), а сортовые особенности определяют эти показатели на 8,3; 5,3 и 13,1 %. Положительное влияние на улучшение качественных характеристик зерна яровой твёрдой пшеницы сорта Безенчукская золотистая оказала предпосевная обработка семян различными микроэлементами (Новикова А.А. и др., 2025). Таким образом, вопросы урожайности и особенно качественных показателей зерна данной культуры находятся на повестке дня у многих исследователей. В значительной мере эти вопросы связаны с изменениями климатических факторов, которые особенно остро стоят в зоне засушливого земледелия. Цель данного исследования – охарактеризовать сортовые различия

по показателям качества зерна в различные по условиям вегетации годы в засушливой зоне Оренбургского Предуралья.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования были сорта оренбургской, самарской, саратовской, итальянской селекции. Все изученные сорта включены в государственный реестр селекционных достижений. Для посева были использованы элитные семена (ЭС). Посев сортов осуществлялся на опытном поле ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (п. Нежинка, Оренбургский район). Почва опытного участка представляет собой чернозем южный карбонатный среднесиловой. Содержание нитратного азота (ГОСТ 26951-86), фосфора и калия (ГОСТ 26205-91) находилось на уровне – 4,0 мг/кг; 26 мг/кг; и 361 мг/кг, и гумуса (ГОСТ 58596 – 2019) – 4,2 %. Предшественник – пар чёрный. Под закладку пара было проведено безотвальное рыхление, в течение летнего периода – четыре культивации, перед уходом в зиму – рыхление стойками СибИМЭ. Весной проведено покровное боронование и предпосевная культивация. Посев осуществлялся сеялкой СС-11, норма высева составляла 4,0 млн. всх. семян на 1 га. Площадь делянок – 49,5 м² (длина делянок – 30 м, ширина – 1,65 м). Повторность опыта четырёхкратная. Уборка делянок проводилась комбайном Террион - SR 2010.

Анализ качества зерна и муки проводился в лаборатории селекционно-генетических исследований в растениеводстве с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (www.цкп-бст.рф). Количество сырой клейковины и индекс деформации клейковины (ИДК) в зерне определяли согласно ГОСТ Р 54478-2011. Содержание сырой клейковины, сухой клейковины и Глютен-индекса в муке определяли с помощью комплекта оборудования для анализа клейковины Glutematik (BASTAK, Турция) согласно ГОСТ ISO 21415-2-2019. Зерно яровой твердой пшеницы было измельчено на вальцевой мельнице Roller mill Rollermaks (MAKSWELL, Турция).

Условия периода вегетации сортов в 2023 году характеризовались повышением температуры воздуха в сравнении со среднемноголетними значениями в мае на 2,2 °C, оптимальными значениями в июне и возрастанием на 1,6 °C в июле. Количество осадков возрастало от половины месячной нормы в мае (15 мм) до полной нормы в июне (34 мм) и полуторной нормы июля (57 мм) (табл. 1).

Таблица 1. Погодные условия вегетации сортов яровой пшеницы в годы проведения исследований (Метеостанция г. Оренбург)

Table 1. Weather conditions of the vegetation period of spring wheat varieties during the years of trials (Orenburg Weather Station)

Месяц	Температура воздуха			Осадки		Сумма среднесуточных дефицитов влажности воздуха, гПА
	средняя	отклонение от нормы	максимальная	сумма, мм	% от нормы	
2023 год						
май	17,5	+2,2	33	15	54	410
июнь	20,3	+0,2	36	34	92	440
июль	23,7	+1,6	41	57	146	495
2024 год						
май	12,3	-3,0	30	39	144	262
июнь	22,4	+1,9	38	71	192	390
июль	22,0	-0,1	35	53	136	495
2025 год						
май	16,7	+1,4	33	41	152	311
июнь	20,3	-0,2	39	53	143	350
июль	22.1	0.0	36	33	85	400

Для условий 2023 года характерны высокие значения суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха. К особенностям погодных условий вегетационного периода 2024 года следует отнести резкое (на 3,0 °C) снижение температуры воздуха в мае, с возрастанием на 1,9 °C в июне и оптимальные значения в июле. За период «май – июль» на опытном поле выпало 163 мм осадков, что выше нормы на 48 мм. Отмечен рост суммы среднесуточных дефицитов влажности воздуха от начала до конца вегетации.

В мае 2025 года среднесуточная температура воздуха превысила норму на 1,4 °C. Июнь и июль характеризовались оптимальными температурными режимами воздуха. За период май – июль выпало 127 мм осадков, что выше нормы на 24 мм, но период налива характеризовался их недостатком (6 мм). Наблюдался рост дефицита влажности воздуха в течение периода вегетации.

Таким образом, условия вегетации в годы исследований отличались наличием различных погодных факторов, которые укладываются в наблюдаемый в последнее время сценарий изменения климата. Наблюдались резкие смены температурного режима воздуха и выпадения осадков, что, несомненно, повлияло на формирование показателей качества зерна сортами твёрдой пшеницы. Дисперсионный анализ результатов опыта проводили по Б.А. Доспехову.

Результаты и их обсуждение. Натура зерна изученных сортов по данным за 3 года соответствовала 4 классу (720–739 г/л), а у сорта Рустикано она оказалась ниже и соответствовала 5 классу (684 г/л). При этом условия периода вегетации по годам значительно влияли на данный показатель и его соответствие нормам (табл. 2).

Таблица 2. Натура зерна сортов яровой твёрдой пшеницы в экологическом испытании по паровому предшественнику, г/л

Table 2. Grain nature weight of spring durum wheat varieties sown in fallow in the environmental trial, g/l

Сорт	Оригинатор	Натура г/л			
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	средняя
Оренбургская 10	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	735	679	752	722
Оренбургская 21	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	741	669	750	720
Меляна	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	717	699	755	724
Безенчукская 205	ФГБНУ Самарский ФИЦ	725	677	767	723
Безенчукская 210	ФГБНУ Самарский ФИЦ	750	723	720	731
Безенчукская золотистая	ФГБНУ Самарский ФИЦ	742	700	770	737
Луч 25	ФГБНУ ФАНЦ Юго-востока	733	702	752	729
Рустикано	ISEA SRL (Италия)	736	636	680	684
Таганрог	ООО Агролига Центр селекции растений	732	714	769	739
Средняя		735	689	746	723
НСР ₀₅		-	-	-	36,8

В 2023 году при избытке осадков в период налива и высокой температуре воздуха у основной группы изученных сортов натура зерна соответствовала 4 классу (732–742 г/л) с наиболее низкими значениями у сорта Меляна (717 г/л). В 2024 году с избыточным количеством осадков за период вегетации показатели натуры зерна соответствовали 5 классу ГОСТа 9353-2016 и составляли 636–702 г/л, а у сортов Безенчукская 210 и Таганрог она соответствовала 4 классу (723 и 724 г/л).

В условиях 2025 года с оптимальным температурным режимом воздуха в период вегетации и без

значительного превышения суммы осадков в период налива зерна сорт Безенчукская золотистая показал натуру зерна 1 класса (770 г). Основная группа сортов сформировала зерно с натурой, соответствующей 2–3 классу, а у сорта Рустикано зерно имело натуру ниже (680 г/л) и соответствовало 5 классу.

Содержание клейковины в зерне изученных сортов в целом по опыту соответствовало требованиям 1 класса (выше 28 %) за исключением показателя сорта Безенчукская 210, у которого оно снизилось до значений 3 класса в зерне из урожая 2023 (24,0 %) и до значений 2 класса из урожая 2025 года (27,0 %) (табл. 3).

Таблица 3. Содержание клейковины в зерне сортов яровой твёрдой пшеницы в экологическом сортоиспытании

Table 3. Gluten percentage in grain of spring durum wheat varieties in the environmental variety testing

Сорт	Оригинатор	Содержание клейковины, %			
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее
Оренбургская 10	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	35,0	39,0	34,0	36,0
Оренбургская 21	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	36,0	34,0	31,0	33,7
Меляна	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	37,0	44,0	36,0	39,0
Безенчукская 205	ФГБНУ Самарский ФИЦ	34,0	37,0	31,0	34,0
Безенчукская 210	ФГБНУ Самарский ФИЦ	24,0	33,0	24,0	27,0
Безенчукская золотистая	ФГБНУ Самарский ФИЦ	39,0	37,0	35,0	37,0
Луч 25	ФГБНУ ФАНЦ Юго-востока	42,0	40,0	37,0	39,7
Рустикано	ISEA SRL (Италия)	32,0	35,0	29,0	32,0
Таганрог	ООО Агролига Центр селекции растений	39,0	36,0	36,0	37,0
Средняя		35,3	37,2	33,1	35,0
НСР ₀₅		-	-	-	4,01

Следует отметить сорта Луч 25 и Меляна со сравнительно высокими показателями количества клейковины в сравнении с другими сортами.

Качество клейковины в зерне твёрдой пшеницы в среднем за 3 года и в большинстве сочетаний факторов «год × сорт» соответствовало второй группе (70–

101 ед. ИДК). При этом в 2023 году данный показатель соответствовал этой группе качества у всех сортов, а в 2024 г. и 2025 г. у сорта Меляна и в 2025 году у сорта Оренбургская 10 показатели снизились до уровня 3 группы качества и составили соответственно 108, 105 и 110 ед. ИДК (табл. 4).

Таблица 4. Индекс деформации клейковины сортов яровой твёрдой пшеницы в экологическом сортоиспытании, ед. ИДК

Table 4. Gluten deformation index of spring durum wheat varieties in the environmental variety testing, GDI units

Сорт	Оригинатор	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Средний
Оренбургская 10	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	85	96	108	96
Оренбургская 21	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	89	100	101	97
Меляна	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	88	105	110	101
Безенчукская 205	ФГБНУ Самарский ФИЦ	93	93	98	95
Безенчукская 210	ФГБНУ Самарский ФИЦ	83	98	91	91
Безенчукская золотистая	ФГБНУ Самарский ФИЦ	86	90	84	87
Луч 25	ФГБНУ ФАНЦ Юго-востока	81	86	93	87
Рустикано	ISEA SRL (Италия)	70	79	87	79
Таганрог	ООО Агролига Центр селекции растений	81	83	86	83
Средний		84	92	95	91
НСР ₀₅		-	-	-	8,64

Стекловидность зерна яровой твёрдой пшеницы относительно ниже требований 3 класса ГОСТа 9353– в годы опытов отличалась снижением показателей 2016 (табл. 5).

Таблица 5. Стекловидность зерна сортов яровой твёрдой пшеницы в экологическом испытании по паровому предшественнику, %

Table 5. Grain hardness of spring durum wheat varieties sown in fallow in the environmental trial, %

Сорт	Оригинатор	Стекловидность, %			
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	средняя
Оренбургская 10	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	54	47	46	49
Оренбургская 21	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	52	49	47	49
Меляна	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	60	51	45	52
Безенчукская 205	ФГБНУ Самарский ФИЦ	52	47	43	47
Безенчукская 210	ФГБНУ Самарский ФИЦ	52	54	46	51
Безенчукская золотистая	ФГБНУ Самарский ФИЦ	56	52	48	52
Луч 25	ФГБНУ ФАНЦ Юго-востока	55	52	45	51
Рустикано	ISEA SRL (Италия)	46	41	40	42
Таганрог	ООО Агролига Центр селекции растений	49	52	47	49
Средняя		53	49	45	49
HCP ₀₅		-	-	-	4,3

Объясняется это избыточным количеством осадков, выпавших в зоне проведения исследований и неустойчивостью температурного режима воздуха в период налива зерна. У сортов Меляна, Безенчукская 210, Безенчукская золотистая и Луч 25 средние значения этого показателя за 3 года превысили 50 %, а у сорта Рустикано снизился до 42 %.

Можно отметить увеличение стекловидности зерна

в 2023 году у сортов Меляна (60 %), Безенчукская золотистая (56 %), Луч 25 (55 %), Оренбургская 10 (54 %). В 2024 и 2025 г. данный показатель существенных сортовых различий не имел.

При определении качества клейковины твёрдой пшеницы в муке с помощью прибора Glutenmatik получены следующие результаты (табл. 6).

Таблица 6. Показатели качества твёрдой пшеницы и Глютен индекс при определении в муке на приборе Glutenmatik

Table 6. Quality indicators of durum wheat and gluten index estimated by the device Glutenmatik in flour

Сорт	Содержание сырой клейковины, %				Содержание сухой клейковины, %				Глютен-индекс, %			
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее	2023 г.	2024 г.	2025 г.	среднее
Оренбургская 10	78,5	64,2	48,6	63,8	24,1	20,4	16,0	20,2	29,0	33,7	34,0	32,2
Оренбургская 21	70,4	59,0	49,4	59,6	27,9	18,8	16,1	20,9	26,1	25,9	34,9	29,0
Меляна	56,1	54,6	56,2	55,6	18,6	19,7	16,6	18,3	34,5	69,3	56,1	53,3
Безенчукская 205	47,1	66,2	52,4	55,2	15,3	20,2	16,6	17,4	39,4	60,5	81,4	60,4
Безенчукская 210	74,0	54,2	50,4	59,5	14,5	18,0	17,9	16,8	59,5	26,6	35,5	40,5
Безенчукская золотистая	54,5	59,8	48,4	54,2	17,2	17,0	16,2	16,8	44,0	39,7	39,1	40,9
Луч-25	50,6	59,9	51,6	54,0	16,9	18,0	16,8	17,2	68,2	74,3	80,8	74,4
Рустикано	51,4	56,2	47,5	51,7	16,8	17,4	15,2	16,5	61,6	52,5	59,0	57,7
Таганрог	49,4	61,2	44,8	51,8	15,8	16,3	14,6	15,6	54,7	87,8	92,9	78,5
Среднее	59,1	59,5	49,9	56,2	18,6	18,4	16,2	17,7	46,3	52,3	57,1	51,9
HCP ₀₅	-	-	-	13,7	-	-	-	4,63	-	-	-	22,7

В среднем за три года его количество было наибольшим (63,8 %) в зерне сорта Оренбургская 10 за счёт максимально высокого показателя 2023 года (78,5 %). Показатели сырой клейковины в муке твёрдой пшеницы в 2023 и 2024 гг. были на 9,2–9,6 % выше, чем в 2025 году. При этом для 2023 года характерны значительные сортовые различия по данному показателю, у трех сортов получены существенно высокие значения: Оренбургская 10 (78,5 %), Оренбургская 21 (70,4 %) и Безенчукская 210 (74,0 %). У остальных сортов значения данного показателя оказались ниже и наиболее существенно у сортов Таганрог (49,4 %) и Безенчукская 205 (47,1 %). В условиях 2024 года различия между сортами были менее существенны с наиболее высокими значениями у сортов Оренбургская 10 (64,2 %) и Безенчукская 205 (66,2 %). В 2025 году показатели сырой клейковины по сортам также были выравнены, а наибольшее содержание получено у сортов Меляна (56,2 %) и Безенчукская 205 (52,4 %). Расчет коэффициента вариации сырой клейковины показал слабую изменчивость данного признака у сорта Меляна (1,38 %), повышенную у сортов Луч 25, Рустикано и Безенчукская золотистая (7,94–9,95–10,55 %) и высокую у остальных сортов (12,49–23,89 %), причем последний коэффициент вариации показал сорт Оренбургская 10. Средний коэффициент вариации содержания сырой клейковины в муке составил 12,49 %.

Содержание сухой клейковины в муке в 2023 году имело наибольшие значения: 24,1 % и 27,9 % соответственно у сортов Оренбургская 10 и Оренбургская 21. У сорта Меляна оно составило 18,6 %, а у остальных сортов было значительно ниже. В 2024 году сорта Оренбургская 10, Безенчукская 205 и Меляна на 1,6–4,1 % содержали больше сухой клейковины, чем у других сортов с меньшими значениями. В 2025 году содержание сухой клейковины по сортам незначительно отличалось от средних значений в этом году. По коэффициенту

вариации данного показателя самые низкие значения обнаружены у сорта Безенчукская золотистая (2,38 %), относительно невысокие у сортов Луч 25, Рустикано, Таганрог и Меляна (5,20–8,74 %) и высокие у сортов Безенчукская 205 (15,52 %), Оренбургская 10 (20,00 %) и Оренбургская 21 (31,08 %). Средний коэффициент вариации содержания сухой клейковины в муке составил 12,49 %.

Глютен-индекс изученных сортов имел существенную сортовую специфику и в значительной степени определялся условиями лет. Согласно требованиям, оптимальным диапазоном по данному показателю являются значения от 65 до 80 %. Исходя из этого, можно отметить, что этим требованиям соответствуют показатели сорта Луч 25 за все годы опытов (68,2–80,8 %), сорта Таганрог в 2024 и 2025 гг. (87,8 и 92,9 %), сорта Меляна в 2024 году (69,3 %) и сорта Безенчукская 205 в 2025 году (81,4 %). Коэффициент вариации показателя Глютен индекс были наименьшим у сортов Безенчукская золотистая, Рустикано, Луч 25 и Оренбургская 10 и варьировал от 6,89 до 8,93 %. У остальных сортов он варьировал от 16,03 % у сорта Оренбургская 21 до 31,64 % у сорта Безенчукская 210. Средний коэффициент показателя Глютен индекса в муке составил 12,95 %.

В зерне из урожая 2025 года нами определено содержание белка в муке. Данные позволяют отметить, что для сортов с низким Глютен-индексом характерно снижение содержания белка. У сортов Оренбургская 10, Оренбургская 21, Безенчукская 210 и Безенчукская золотистая с низкими значениями Глютен-индекса (34,0–39,1 %) содержание белка было в пределах 14,31–14,88 %, а у сортов Безенчукская 205, Луч 25 и Таганрог с Глютен индексом соответственно 81,4 %, 80,8 % и 92,9 % содержание белка составляло 15,65 %, 16,07 % и 15,85 % (табл. 7). Содержание белка в зерне у трех последних сортов существенно превышало значения данного показателя у всех остальных сортов в опыте.

Таблица 7. Содержание белка в муке сортов яровой твёрдой пшеницы 2025 г, %

Table 7. Protein percentage in flour of spring durum wheat varieties, 2025, %

Сорт	Оригинатор	Содержание белка в зерне %
Оренбургская 10	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	14,88
Оренбургская 21	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	14,31
Меляна	ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН	15,33
Безенчукская 205	ФГБНУ Самарский ФИЦ	15,65
Безенчукская 210	ФГБНУ Самарский ФИЦ	14,54
Безенчукская золотистая	ФГБНУ Самарский ФИЦ	14,39
Луч 25	ФГБНУ ФАНЦ Юго-востока	16,07
Рустикано	ISEA SRL (Италия)	15,85
Таганрог	ООО Агролига Центр селекции растений	15,85
Среднее		15,21
НСР ₀₅		0,28

Выводы. В результате проведенных опытов в условиях Оренбургского Предуралья получены данные о сортовой специфичности и погодной зависимости показателей качества яровой твёрдой пшеницы. По данным за 3 года наиболее высоконатурное

зерно формируют сорта Безенчукская 210 (734 г/л) Безенчукская золотистая (737 г/л) и Таганрог (739 г/л). В год с излишним количеством осадков на фоне оптимальной температуры воздуха в период налива зерна натура зерна снижается до уровня

4–5 класса и составляет 636–723 г/л. Содержание клейковины в зерне большинства изученных сортов соответствует значениям 1 класса и составляет более 28 %. Качество клейковины в зерне изученных сортов соответствовало второй группе и составляло от 70 до 101 ед. ИДК. У сорта Рустикано качество клейковины в 2023 году отвечало требованиям 1 группы качества (70 ед. ИДК), а отдельные сорта – Оренбургская 10, Меляна формировали клейковину 3 группы качества (101–105 ед. ИДК). В исследованиях обнаружена общая тенденция снижения стекловидности зерна изученных сортов твёрдой пшеницы в годы опытов до значений 3 класса, что объясняется неблагоприятными условиями периода налива зерна. По содержанию сырой клейковины в муке в 2023 году отмечено значительное преимущество сортов Оренбургская 10 (78,5 %), Оренбургская 21 (70,4 %) и Безенчукская 210 (74,0 %), а в 2024 году наиболее высокие значения у

сортов Оренбургская 10 (64,2 %) и Безенчукская 205 (66,2 %). По содержанию сухой клейковины в муке в 2023 году выделились сорта Оренбургская 10 (24,1 %) и Оренбургская 21 (27,9 %). Результаты полевых опытов в условиях Оренбургского Предуралья показывают значительную зависимость показателей качества зерна сортов яровой твёрдой пшеницы от погодных факторов периода вегетации. Особо существенные из них касаются природы зерна и стекловидности, показатели которых в отдельные годы опускаются до значений ниже 4 класса. Показатели содержания и качество клейковины зерна более устойчивы и соответствуют значениям 1–2 класса. Содержание сырой и сухой клейковины в муке и Глютен индекс значительно зависели от погодных факторов и определялись сортовыми особенностями.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FNWZ-2022-0014 ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН.

Библиографический список

1. Бесалиев И. Н., Мироненко С. И. Урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 324–336. DOI: org/10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Бесалиев И. Н., Панфилов А. Л. Показатели качества зерна яровой твёрдой пшеницы в зависимости от содержания азота в растениях в условиях Оренбургского Приуралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 3(83). С. 47–50. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. Мухитов Л.А., Тимошенкова Т.А. Сорта яровой твёрдой пшеницы, адаптированные к условиям степи Уральского региона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3(89). С.15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-315-19-47-51
5. Новикова А.А., Подласова Е.Ю., Глуценко Н.Н. Влияние предпосевной обработки семян микроэлементами в ультрадисперсной форме на качество зерна *Triticum Durum* Desf. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2025. № 1(79). С. 137–145. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-14
6. Jlassi J., Bnejdi F., Saadoun M., Haji A., Mansouri D., Ben-Attia M., El-Gazzah M., El-Bok S.. SSR markers and seed quality traits revealed genetic diversity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // Mol Biol Rep. 2021. Vol. 48(4). P. 3185–3193. DOI: 10.1007/s11033-021-06385-y
7. Vida G., Cséplő M., Rakszegi M., Bányai Ju. Effect of Multi-Year Environmental and Meteorological Factors on the Quality Traits of Winter Durum Wheat // J Sci Food Agric. 2021 Dec 30. Vol. 11(1). P. 113. DOI: 10.3390/plants11010113
8. Garcia-Calabres V., Andrade F., Tabbita F., Castilla A., Sillero Jos. C., Hernández-Espinosa N., Itria Ibba M., Guzmán C., Juan B Alvarez Ju. B. Nutritional and industrial quality assessment of Spanish durum wheat commercial cultivars Sep. // J Sci Food Agric. 2025. Vol. 105(12). P. 6839–6849. DOI: 10.1002/jsfa.14396
9. Mastilovic Ja., Zivančev D., Lancer E., Malbasa R., Hristov N., Kevresan Z. Effects of high temperatures and drought during anthesis and grain filling period on wheat processing quality and underlying gluten structural changes // J Sci Food Agric. 2018. Vol. 98(8). P. 2898–2907. DOI: 10.1002/jsfa.8784
10. Fleitas M.C., Mondal S., Gerard G. S., Hernández-Espinosa N., Singh R. P., Crossa J., &Guzmán C. Identification of CIMMYT spring bread wheat germplasm maintaining superior grain yield and quality under heat-stress // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 93, Article number: 102981. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.102981

References

1. Besaliev I. N., Mironenko S. I. Urozhajnost' i kachestvo zerna yarovoj tvyordoj pshenicy v usloviyah Orenburgskogo Predural'ya [Productivity and grain quality of spring durum wheat in the Orenburg Cis-Urals]// ZHivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2024. T. 107, № 4. S. 324–336. DOI: org/10.33284/2658-3135-107-4-324
2. Besaliev I. N., Panfilov A. L. Pokazateli kachestva zerna yarovoj tvyordoj pshenicy v zavisimosti ot soderzhaniya azota v rasteniyah v usloviyah Orenburgskogo Priural'ya [Grain quality indicators of spring durum wheat depending on nitrogen content in plants in the Orenburg Cis-Urals] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 3(83). S. 47–50. DOI: 10.37670/2073-0853-2020-83-3
3. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with basics of statistical analysis of the study results)]5-e izd., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.
4. Muhitov L.A., Timoshenkova T.A. Sorta yarovoj tvyordoj pshenicy, adaptirovannye k usloviyam stepi Ural'skogo regiona [Spring durum wheat varieties adapted to the steppe conditions of the Ural region]// Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 3(89). S.15–19. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-89-315-19-47-51

5. Novikova A.A., Podlasova E.YU., Glushchenko N.N. Vliyanie predposevnoj obrabotki semyan mikroelementami v ul'tradispersnoj forme na kachestvo zerna *Triticum Durum Desf L.* [The effect of pre-sowing seed treatment with ultrafine microelements on quality of *Triticum Durum Desf L.* grain]// Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2025. № 1(79). S. 137–145. DOI: 10.32786/2071-9485-2025-01-14
6. Jlassi J., Bnejdi F., Saadoun M., Haji A., Mansouri D., Ben-Attia M., El-Gazzah M., El-Bok S.. SSR markers and seed quality traits revealed genetic diversity in durum wheat (*Triticum durum Desf.*) // Mol Biol Rep .2021. Vol. 48(4), P. 3185–3193. DOI: 10.1007/s11033-021-06385-y
7. Vida G., Cséplő M., Rakszegi M., Bányai Ju. Effect of Multi-Year Environmental and Meteorological Factors on the Quality Traits of Winter Durum Wheat // J Sci Food Agric. 2021 Dec 30. Vol. 11(1). P. 113. DOI: 10.3390/plants11010113
8. Garcia-Calabres V., Andrade F., Tabbita F., Castilla A., Sillero Jos. C., Hernández-Espinosa N., Itria Ibba M., Guzmán C, Juan B Alvarez Ju. B. Nutritional and industrial quality assessment of Spanish durum wheat commercial cultivars Sep. // J Sci Food Agric. 2025. Vol. 105(12). P. 6839–6849. DOI: 10.1002/jsfa.14396
9. Mastilovic Ja., Zivančev D., Lancer E., Malbasa R., Hristov N., Kevresan Z. Effects of high temperatures and drought during anthesis and grain filling period on wheat processing quality and underlying gluten structural changes // J Sci Food Agric. 2018. Vol. 98(8). P. 2898–2907. DOI: 10.1002/jsfa.8784
10. Fleitas M.C., Mondal S., Gerard G. S., Hernández-Espinosa N., Singh R. P., Crossa J., &Guzmán C. Identification of CIMMYT spring bread wheat germplasm maintaining superior grain yield and quality under heat-stress // Journal of Cereal Science. 2020. Vol. 93, Article number: 102981. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.102981

Поступила: 16.02.26; доработана после рецензирования: 08.05.26; принята к публикации: 15.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Бесалиев И.Н. – анализ данных и их интерпретация, написание текста статьи, подготовка рукописи; Иванова Е.А. – сбор и математическая обработка полученных данных, подготовка рукописи; Панфилов А.Л. – сбор и математическая обработка полученных данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЗАИМОСВЯЗЬ УРОЖАЙНОСТИ И ЭЛЕМЕНТОВ ЕЁ СТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

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

Д.М. Марченко^{1,2}, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа¹, доцент кафедры агрономии², wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

И.А. Рыбась, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, irinka.rybas@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8443-7714;

А.В. Кири́н, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818.

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3;

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,

344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.

Озимая мягкая пшеница представляет собой сельскохозяйственную культуру с широким ареалом возделывания и значительным потенциалом. Разработка новых высокопродуктивных генотипов культуры требует комплексного подхода, включающего не только оценку урожайности, но и детальный анализ структурных показателей. Цель работы – оценить современные сорта озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по урожайности и её взаимосвязи с основными элементами продуктивности. В условиях Северо-Кавказского региона проведено трехлетнее исследование (2023–2025 гг.) пятнадцати современных сортов озимой мягкой пшеницы, оригинатором которых является ФГБНУ «АНЦ «Донской». Средняя урожайность варьировала от 7,03 до 8,76 т/га, по опыту 7,74 т/га, прибавка относительно стандарта изменялась от 0,11 до 1,73 т/га. Максимальная урожайность (свыше 8 т/га) была получена у следующих сортов: Премьера (8,16 т/га), Донец (8,11 т/га), Ермак 2 (8,24 т/га), Столица (8,58 т/га), Эльбрус (8,76 т/га). Генотипы демонстрировали высокую степень восприимчивости ($V=23,2–34,5\%$) к годовым флуктуациям условий возделывания. Результаты исследования показали, что изученные сорта превосходят стандарт Дон 107 по урожайности благодаря различным элементам структуры. Генотипы с высокой продуктивностью продемонстрировали достоверные прибавки по четырем-шести структурным параметрам. Проведенный корреляционный анализ выявил, что урожайность положительно взаимосвязана со следующими признаками: густоты продуктивного стеблестоя ($r=0,36\pm 0,14$), массы зерна с колоса ($r=0,55\pm 0,12$) и массы 1000 зерен ($r=0,68\pm 0,10$). Дальнейший рост урожайности культуры возможен за счет формирования оптимальных значений основных структурных элементов продуктивности.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, сорт, продуктивность, элементы структуры, взаимосвязь.

Для цитирования: Иванисов М.М., Марченко Д.М., Рыбась И.А., Кири́н А.В. Взаимосвязь урожайности и элементов её структуры современных сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №3. С. 80-87. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-80-87.



CORRELATION BETWEEN PRODUCTIVITY AND YIELD STRUCTURE ELEMENTS IN MODERN WINTER WHEAT VARIETIES DEVELOPED BY THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

M.M. Ivanisov, 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;

D.M. Marchenko^{1,2}, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type¹, associate professor of the department “Agronomy”², wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

I.A. Rybas, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of semi-intensive type, irinka.rybas@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8443-7714;

A.V. Kirin, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of

semi-intensive type, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818.

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3;

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University",
344000, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1.

Winter common wheat is an agricultural crop with a wide cultivation area and significant potential. The development of new highly productive genotypes requires a comprehensive approach, including not only assessment of productivity but also a detailed analysis of yield structure elements. The purpose of the current study was to estimate productivity and its correlation with its primary elements of modern winter common wheat varieties developed by the developed by the FSBSI "ARC "Donskoy". A three-year study (2023–2025) of fifteen modern winter common wheat varieties, developed by the FSBSI "ARC "Donskoy", was conducted in the North Caucasus region. The mean productivity varied from 7.03 to 8.76 t/ha, in the trial it was 7.74 t/ha, the increase to the standard varied from 0.11 to 1.73 t/ha. The maximum productivity (over 8 t/ha) was obtained from such varieties as Premiera (8.16 t/ha), Donetsk (8.11 t/ha), Ermak 2 (8.24 t/ha), Stolitsa (8.58 t/ha), Elbrus (8.76 t/ha). The genotypes demonstrated a high degree of susceptibility ($V=23.2\text{--}34.5\%$) to annual fluctuations in cultivation. The results of the trials have shown that the studied varieties surpassed the standard variety Don 107 in productivity due to various structure elements. Highly productive genotypes have demonstrated significant increases in four to six structure parameters. A correlation analysis has revealed that productivity is positively correlated with such traits as productive stem density ($r=0.36\pm 0.14$), grain weight per ear ($r=0.55\pm 0.12$), and 1000-grain weight ($r=0.68\pm 0.10$). Further increases in productivity are possible through the development of optimal values for the primary yield structure elements.

Keywords: winter common wheat, variety, productivity, yield structure elements, correlation.

Введение. Озимая мягкая пшеница – культура широкого ареала возделывания и больших возможностей. На протяжении тысячелетий она является ключевым компонентом продовольственной системы и занимает лидирующую позицию в мире по валовым сборам среди зерновых культур. Ее доминирующее положение в сельскохозяйственном производстве обусловлено высокой питательной ценностью, универсальностью использования и адаптивностью к различным климатическим условиям (Громова и др., 2023; Чернова и др., 2024).

Перед селекцией данной культуры стоит задача создавать сорта не только с высокой, но и стабильной урожайностью. Разрабатывая новые высокопродуктивные генотипы, необходимо знать не только конечный результат (урожай зерна), но и структурные его показатели. Ряд важнейших признаков продуктивности сильно модифицируется под влиянием неоднородности среды и изменчивости погодноклиматических условий возделывания (Каменева и др., 2018; Сандухадзе и др., 2021; Грабовец, Фоменко, 2023).

Изучение взаимосвязей между отдельными признаками продуктивности является важным направлением селекционной работы по озимой пшенице. Это позволяет в определенной мере оценить селекционную значимость отдельных признаков, их селекционную иерархию и возможности трансгрессии в процессе селекции (Грабовец, Бирюков, 2021; Иванисова, Марченко, 2024).

Цель исследований – оценить современные сорта озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по урожайности и её взаимосвязи с основными элементами продуктивности.

Материалы и методы исследований. Иссле-

дования проводились в течение 3-х лет (2023–2025 гг.) в условиях южной зоны Ростовской области (Зерноградский район). Объект исследования – 15 сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Стандарт – Дон 107. Механизированный посев проводился по предшественнику кукуруза на зерно с использованием сеялки Wintersteiger Plotseed, с нормой высева 500 всхожих зерен на 1 м². Площадь делянок – 10 м², повторность – шестикратная. Агротехнические мероприятия в опыте соответствовали зональным системам земледелия Ростовской области. Уборка урожая осуществлялась с применением селекционного комбайна Wintersteiger Classic в фазу полной спелости зерна. Структурный анализ растений осуществляли в соответствии с методикой, принятой в Государственном сортоиспытании сельскохозяйственных культур.

В ходе исследования метеорологические условия отличались значительной вариабельностью, характеризуюсь как экстремально жаркими и засушливыми периодами (2024-2025 с.-х. год) с благоприятными погодными условиями (2022-2023, 2023-2024 с.-х. годы), способствующими оптимальному росту и развитию культуры. 2023-2024 сельскохозяйственных год, обеспечил максимальную урожайность озимой мягкой пшеницы.

Полученные данные были обработаны статистически с применением компьютерных программ (Microsoft Office Excel, Статистика 10.0).

Результаты и их обсуждение. Ключевым критерием оценки сорта является его продуктивность (Чернова и др., 2021). В условиях 2023 г. изучаемые сорта озимой мягкой пшеницы сформировали урожайность от 6,94 т/га (Аксаи) до 9,88 т/га (Ермак 2) (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы (2023–2025 гг.)
Table 1. Productivity of winter common wheat varieties (2023–2025)

Сорт	Урожайность, т/га					V*, %
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	средняя	± к стандарту	
Дон 107, стандарт	7,59	8,30	5,19	7,03	-	23,2
Вольный Дон	7,43	9,78	5,28	7,50	0,47	30,0
Жаворонок	7,66	9,03	5,36	7,35	0,32	25,2
Амбар	8,13	9,25	4,47	7,28	0,26	34,3
Премьера	9,73	9,57	5,18	8,16	1,13	31,6
Аюта	8,16	9,46	5,18	7,60	0,57	28,9
Донец	9,08	10,25	5,01	8,11	1,09	33,9
Регион 161	7,97	8,58	5,28	7,28	0,25	24,1
Аксай**	6,94	9,59	4,88	7,14	0,11	33,1
Флагман**	8,75	9,56	5,41	7,91	0,88	27,8
Ермак 2**	9,88	9,53	5,32	8,24	1,22	30,8
Дончак**	9,16	9,44	4,67	7,76	0,73	34,5
Столица**	9,23	10,78	5,73	8,58	1,55	30,2
Фазенда**	8,78	9,39	5,01	7,73	0,70	30,7
Тихий Дон**	8,39	8,60	5,43	7,47	0,45	23,7
Эльбрус**	9,55	10,86	5,86	8,76	1,73	29,6
НСР ₀₅	0,39	0,60	0,27	-	-	-

Примечание. * - коэффициент вариации;

** - сорт проходит государственное испытание.

Высокая урожайность относительно стандарта (НСР₀₅=0,39 т/га) отмечена у сортов: Амбар (8,13 т/га), Премьера (9,73 т/га), Аюта (8,16 т/га), Донец (9,08 т/га), Флагман (8,75 т/га), Ермак 2 (9,88 т/га), Дончак (9,16 т/га), Столица (9,23 т/га), Фазенда (8,78 т/га), Тихий Дон (8,39 т/га) и Эльбрус (9,55 т/га). Остальной набор изучаемых генотипов сформировал продуктивность на уровне и ниже Дон 107.

В благоприятном 2024 году урожайность изучаемых сортов варьировала от 8,30 т/га (Дон 107) до 10,86 т/га (Эльбрус) при средней по опыту 9,50 т/га. Тринадцать из пятнадцати генотипов достоверно превысили стандарт на 0,73–2,56 т/га при НСР₀₅=0,60 т/га. Урожайность свыше 10 т/га была получена у трех изучаемых сортов: Донец (10,25 т/га), Столица (10,78 т/га) и Эльбрус (10,86 т/га).

В условиях неблагоприятного 2025 года урожайность изменялась в узких пределах 4,47–5,86 т/га при урожайности стандарта 5,19 т/га. Высокая урожайность получена у сортов Столица и Эльбрус (5,73–5,86 т/га), остальные были ниже и на уровне с Дон 107.

Средняя за три года (2023–2025 гг.) урожайность составила от 7,03 до 8,76 т/га, по опыту 7,74 т/га. Прибавка по данному признаку относительно стандар-

та изменялась от 0,11 до 1,73 т/га. Максимальная урожайность (свыше 8 т/га) была получена у следующих сортов: Премьера (8,16;+1,13 т/га), Донец (8,11; +1,09 т/га), Ермак 2 (8,24;+1,22 т/га), Столица (8,58; +1,55 т/га), Эльбрус (8,76; +1,73 т/га).

Анализ результатов испытания современных сортов селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по предшественнику кукуруза на зерно в условиях последних трех лет (2023–2025 гг.) показывает значительную изменчивость урожайности по годам (V=23,2–34,5 %). Наибольшее влияние условий года (V>30,0 %) отмечено у сортов: Амбар (34,3 %), Премьера (31,6 %), Донец (33,9 %), Аксай (33,1 %), Ермак 2 (30,8 %), Дончак (34,5 %), Столица (30,2 %), Фазенда (30,7 %).

Продуктивность пшеничного растения принято разделять на ряд составляющих её компонентов (Иванисова, 2022). Густота продуктивного стеблестоя в опыте изменялась от 532,7 шт/м² (Жаворонок) до 604,2 шт/м² (Столица), Дон 107 – 567,1 шт/м². Достоверную прибавку (НСР₀₅=23,3 шт/м²) по количеству продуктивных стеблей сформировали следующие сорта: Регион 161 (592,9 шт/м²), Аксай (600,4 шт/м²), Флагман (592,6 шт/м²), Ермак 2 (598,9 шт/м²), Столица (604,2 шт/м²), Эльбрус (597,0 шт/м²) (табл. 2).

Таблица 2. Основные элементы структуры урожайности сортов озимой мягкой пшеницы (2023–2025 гг.)
Table 2. Primary yield structure elements of winter common wheat varieties (2023–2025)

Сорт	Густота продуктивного стеблестоя, шт/м ²	Продуктивная кустистость	Длина колоса, см	Количество колосков, шт.	Количество зерен с колоса, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г.
Дон 107, стандарт	567,1	1,40	8,9	17,7	33,5	1,26	37,7
Вольный Дон	577,0	1,45	10,0	18,6	36,8	1,36	37,4
Жаворонок	532,7	1,31	8,6	17,7	36,0	1,44	39,8
Амбар	557,1	1,48	10,7	22,6	44,2	1,77	39,0
Премьера	551,7	1,37	10,7	20,5	40,7	1,87	45,6
Аюта	555,9	1,35	8,8	18,5	33,6	1,45	42,5
Донец	571,4	1,40	11,0	20,4	37,5	1,64	42,9
Регион 161	592,9	1,62	9,5	17,7	37,4	1,47	39,2
Аксай*	600,4	1,45	9,5	18,0	34,1	1,26	36,7
Флагман*	592,6	1,52	9,7	18,8	38,2	1,49	39,1
Ермак 2*	598,9	1,54	8,7	17,1	34,2	1,52	41,6
Дончак*	537,4	1,35	10,8	18,9	44,0	1,77	38,9
Столица*	604,2	1,64	9,3	19,0	37,6	1,61	42,4
Фазенда*	567,3	1,41	9,2	18,8	37,6	1,59	42,6
Тихий Дон*	552,3	1,37	9,1	17,7	35,6	1,44	40,8
Эльбрус*	597,0	1,47	9,8	20,2	39,1	1,65	42,2
НСР ₀₅	23,3	0,10	0,8	1,4	3,3	0,18	2,4

Примечание. * - сорт проходит государственное испытание.

Продуктивная кустистость стандартного сорта Дон 107 в среднем составила 1,40, пределы варьирования от 1,31 до 1,64. Максимальное количество продуктивных стеблей на одно растение получено: Регион 161 (1,62), Флагман (1,52), Ермак 2 (1,54), Столица (1,64).

Длина колоса в среднем по опыту составила 9,6 см, у стандарта 8,9 см. Длинный колос более 10 см отмечен у четырех изучаемых сортов: Амбар, Премьера (10,7 см), Дончак (10,8 см), Донец (11,0 см). Количество колосков в колосе находилось в пределах 17,1–22,6 шт. Достоверное превышение стандартного сорта Дон 107 (17,7 шт., НСР₀₅=1,4 шт.) по данному признаку показали: Амбар (+4,9 шт.), Премьера (+2,8 шт.), Донец (+2,7 шт.), Эльбрус (+2,5 шт.). Среднее значение количества зерен в колосе за три года (2023–2025 гг.) находилось на уровне 37,5 шт. Большинство изучаемых генотипов достоверно (НСР₀₅= 3,3 шт.) превысили стандарт по озерненности колоса на 3,3–10,7 шт.

Масса зерна с колоса стандартного сорта Дон 107 в среднем составила 1,26 г, варьирование по опыту от 1,26 г (Аксай) до 1,87 г (Премьера). Сорта Вольный Дон и Аксай находились на уровне со стандартом по данному показателю (НСР₀₅=0,18 г), остальные

показали достоверное превышение на 0,18–0,61 г.

Средняя масса 1000 зерен по изучаемым сортам в годы исследования составила 40,5 г. Крупное зерно относительно стандарта (37,7 г, НСР₀₅=2,4 г) сформировали следующие сорта: Премьера (45,6 г), Аюта (42,5 г), Донец (42,9 г), Ермак 2 (41,6 г), Столица (42,4 г), Фазенда (42,6 г), Тихий Дон (40,8 г), Эльбрус (42,2 г).

Новые сорта озимой мягкой пшеницы показали высокую урожайность по сравнению со стандартом Дон 107 благодаря комплексному взаимодействию различных факторов, влияющих на формирование продуктивности. Генотипы с максимальной урожайностью (8,11–8,76 т/га) Премьера, Донец, Ермак 2, Столица и Эльбрус сформировали достоверные прибавки по четырем-шести её структурным элементам.

Анализ взаимосвязи структурных показателей с урожайностью показывает, что прибавка в урожае зерна в основном обеспечивается за счет: густоты продуктивного стеблестоя ($r=0,36\pm0,14$), массы зерна с колоса ($r=0,55\pm0,12$) и массы 1000 зерен ($r=0,68\pm0,10$) (рис. 1).



Рис. 1. Коэффициенты корреляции урожайности и элементов её структуры (2023–2025 гг.)

Fig. 1. Correlation coefficients between productivity and yield structure elements (2023–2025)

Слабая корреляционная взаимосвязь ($r=0,18-0,29$) урожайности отмечена с остальными структурными элементами: продуктивная кустистость, длина колоса, количество колосков в колосе и количество зерен в колосе.

Наиболее тесная связь урожайности была отмечена с массой зерна с колоса и массой 1000 зерен (рис. 2).

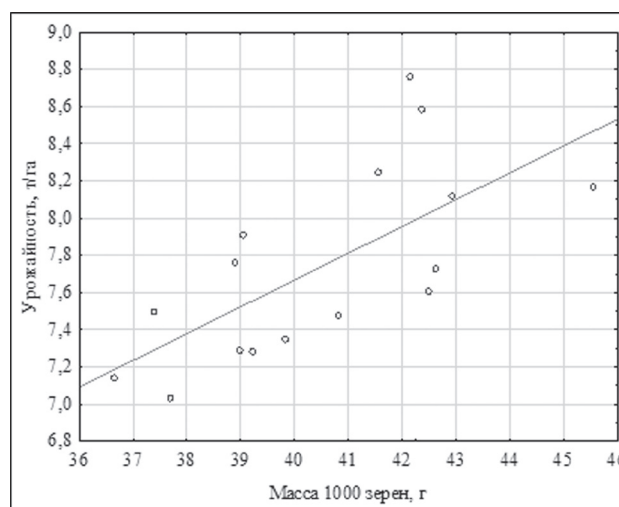
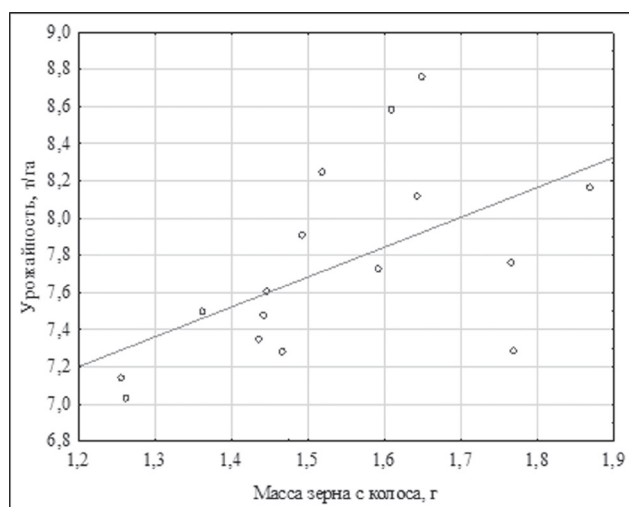


Рис. 2. Зависимость урожайности от массы зерна с колоса и массы 1000 зерен (2023–2025 гг.)

Fig. 2. Dependence of productivity on grain weight per ear and 1000-grain weight (2023–2025)

Графики демонстрируют положительную корреляцию между урожайностью зерна и ключевыми показателями продуктивности, такими как масса зерна с колоса и масса 1000 зерен. Сорта, сформировавшие урожайность выше 8,0 т/га (Премьера, Донец, Ермак 2, Столица, Эльбрус) обладают массой зерна с колоса более 1,5 г и имеют массу 1000 зерен более 41,0 г.

В контексте практической селекции, помимо выяв-

ления влияния количественных признаков на урожайность, немало важное значение имеет исследование взаимосвязей между этими признаками. Масса зерна с колоса в значимой степени коррелировала с рядом элементов структуры урожая: длина колоса ($r=0,67\pm 0,10$), количество колосков в колосе ($r=0,72\pm 0,09$), количество зерен с колоса ($r=0,83\pm 0,08$) и масса 1000 зерен ($r=0,63\pm 0,11$) (рис. 3).

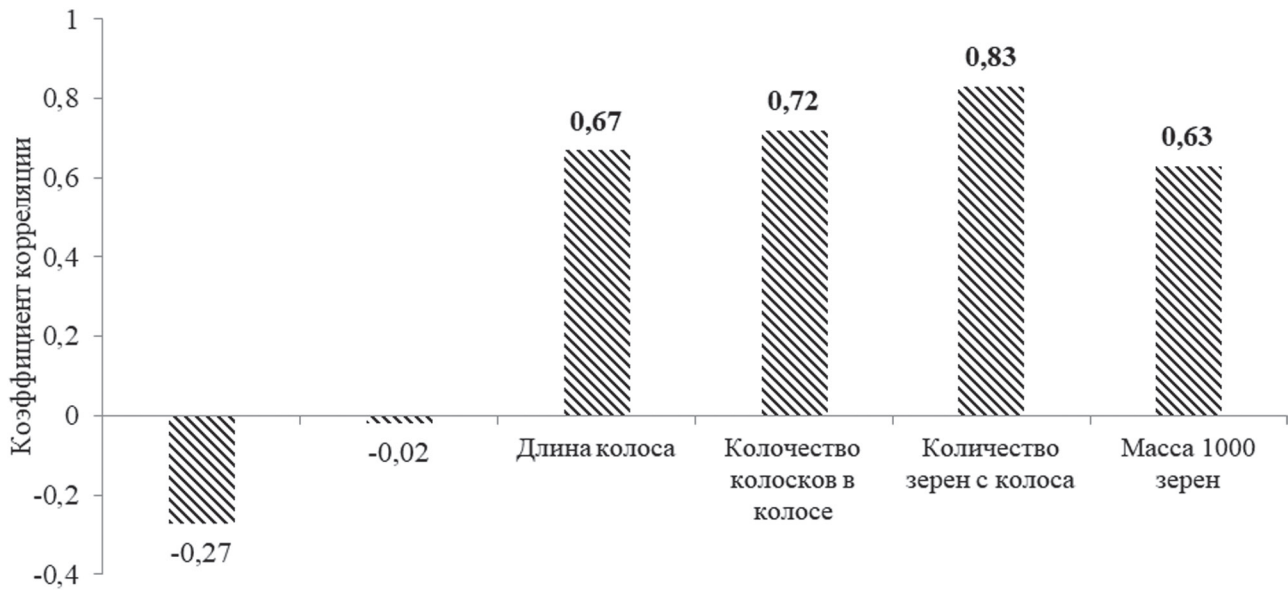


Рис. 3. Коэффициенты корреляции массы зерна с колоса и элементов структуры (2023–2025 гг.)

Fig. 3. Correlation coefficients between grain weight per ear and yield structure elements (2023–2025)

С густотой продуктивного стеблестоя отмечена слабая отрицательная взаимосвязь массы зерна с колоса, коэффициент корреляции составил $-0,27 \pm 0,17$. Иные результаты получены при анализе связи

массы 1000 зерен с другими элементами структуры. Достоверная взаимосвязь отмечена только с массой зерна с колоса ($r=0,63 \pm 0,11$) (рис. 4).

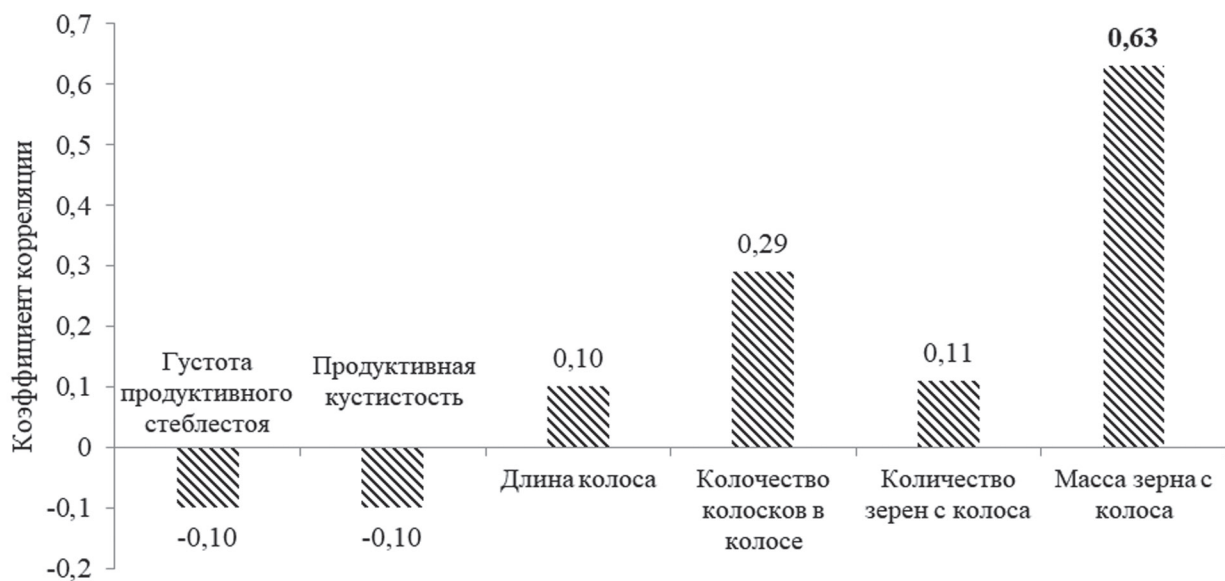


Рис. 4. Коэффициенты корреляции массы 1000 зерен и элементов структуры (2023–2025 гг.)

Fig. 4. Correlation coefficients between 1000-grain weight and yield structure elements (2023–2025)

Других достоверных взаимосвязей с массой 1000 зерен выявлено не было. Таким образом, процесс селекции, направленный на отбор материала с высокими значениями крупности зерна, не приводит к статистически значимому снижению показателей по другим параметрам продуктивности.

Выводы. По результатам трехлетнего изучения современных сортов озимой мягкой пшеницы селекции

ФГБНУ «АНЦ «Донской» максимальная урожайность получена в условиях 2023-2024 с.-х. года от 8,30 до 10,86 т/га. В среднем за три года высокую урожайность и прибавку относительно стандарта сформировали сорта: Премьера (8,16; +1,13 т/га), Донец (8,11; +1,09 т/га), Ермак 2 (8,24; +1,22 т/га), Столица (8,58; +1,55 т/га), Эльбрус (8,76; +1,73 т/га). Все изучаемые генотипы показали сильную изменчивость продук-

тивности по годам, коэффициент вариации составил от 23,2 до 34,5 %. Выявлено, что изученные сорта в опыте формируют высокую урожайность относительно стандарта Дон 107 за счет различных показателей структуры, при этом генотипы с максимальной продуктивностью сформировали достоверные прибавки по 4-6 структурным элементам. Анализ взаимосвязи

структурных элементов с урожайностью показал, что высокая продуктивность в основном обеспечивалась за счет: густоты продуктивного стеблестоя ($r=0,36\pm0,14$), массы зерна с колоса ($r=0,55\pm0,12$) и массы 1000 зерен ($r=0,68\pm0,10$).

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FNFN-2025-0006.

Библиографический список

1. Грабовец А.И., Бирюков К.Н. Роль сорта в стабилизации производства зерна в широком диапазоне агроклиматических факторов // Земледелие. 2021; (5): 41-45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45
2. Грабовец А.И., Фоменко М.А. Изменение климата и особенности селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и адаптивность к нему // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 1. С. 20-25. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/1/20-25
3. Громова С.Н., Скрипка О.В., Подгорный С.В., Самофалов А.П., Чернова В.Л. Экологическое испытание сортов и линий озимой мягкой пшеницы в условиях Южной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. № 1 (15). С. 17-22. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-17-22
4. 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
5. Иванисова А. С., Марченко Д. М. Использование селекционных индексов при оценке продуктивности озимой твердой пшеницы // Аграрная наука. 2024. № 8. С. 150-154. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154
6. Каменева А. С., Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Дубинина О. А., Костыленко О. А., Хронюк В. Б. Изучение сортов и линий озимой твердой пшеницы в конкурсном сортоиспытании // Зерновое хозяйство России. 2018. № 1. С. 24-28. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-55-1-24-28
7. Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Крахмалёва М.С., Бугрова В.В. Научная селекция озимой мягкой пшеницы в Нечерноземной зоне России: История, методы и результаты // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 367-373. DOI: 10.18699/VJ21.53-o
8. Чернова А.А., Подгорный С.В., Скрипка О.В., Чернова В.Л., Самофалов А.П. Сравнительная оценка перспективных линий озимой мягкой пшеницы в условиях юга Ростовской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024; 54(4): 43-50. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-4-5
9. Чернова В.Л., Подгорный С.В., Скрипка О.В., Самофалов А.П., Громова С.Н. Продуктивность и адаптивность сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ АНЦ «Донской» в условиях Южной зоны Ростовской области // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2 (26). С. 261-272. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-261-270

References

1. Grabovec A.I., Biryukov K.N. Rol' sorta v stabilizacii proizvodstva zerna v shirokom diapazone agroklimatecheskikh faktorov [The role of varieties in stabilizing grain production under a wide range of agroclimatic factors]// Zemledelie. 2021; (5): 41-45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45
2. Grabovec A.I., Fomenko M.A. Izmenenie klimata i osobennosti selekcii ozimoy myagkoj pshenicy na produktivnost' i adaptivnost' k nemu [Climate change and the peculiarities of winter common wheat breeding for productivity and adaptability]// Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2023. № 1. S. 20-25. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/1/20-25
3. Gromova S.N., Skripka O.V., Podgornij S.V., Samofalov A.P., CHernova V.L. Ekologicheskoe ispytanie sortov i linij ozimoy myagkoj pshenicy v usloviyah YUzhnoj zony Rostovskoj oblasti [Ecological testing of winter common wheat varieties and lines in the southern part of the Rostov Region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2023. № 1 (15). S. 17-22. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-17-22
4. Ivanisova, A.S. Ocenka elementov struktury urozhaya kollekcionnyh obrazcov ozimoy 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. № 2. S. 62-66. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-62-66
5. Ivanisova A. S., Marchenko D. M. Ispol'zovanie selekcionnyh indeksov pri ocenke produktivnosti ozimoy tverdoj pshenicy [The use of selection indices in estimating winter durum wheat productivity]// Agrarnaya nauka. 2024. № 8. S. 150-154. DOI: 10.32634/0869-8155-2024-385-8-150-154
6. Kameneva A. S., Samofalova N. E., Ilichkina N. P., Dubinina O. A., Kostylenko O. A., Hronyuk V. B. Izuchenie sortov i linij ozimoy tverdoj pshenicy v konkursnom sortoispytanii [The study of winter durum wheat varieties and lines in the Competitive Variety Testing] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 1. S. 24-28. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-55-1-24-28
7. Sanduhadze B.I., Mamedov R.Z., Krahmalyova M.S., Bugrova V.V. Nauchnaya selekciya ozimoy myagkoj pshenicy v Nечernozemnoj zone Rossii: Istoriya, metody i rezul'taty [Scientific breeding of winter common wheat in the Non-Blackearth Zone of Russia: history, methods, and results]// Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. - 2021. T. 25. № 4. S. 367-373. DOI: 10.18699/VJ21.53-o
8. CHernova A.A., Podgornij S.V., Skripka O.V., CHernova V.L., Samofalov A.P. Sravnitel'naya ocenka perspektivnyh linij ozimoy myagkoj pshenicy v usloviyah yuga Rostovskoj oblasti [Comparative estimation of promising winter common wheat lines in the south of the Rostov Region] // Sibirskij vestnik sel'skohozyajstvennoj nauki. 2024; 54(4): 43-50. DOI: 10.26898/0370-8799-2024-4-5
9. CHernova V.L., Podgornij S.V., Skripka O.V., Samofalov A.P., Gromova S.N. Produktivnost' i adaptivnost' sortov ozimoy myagkoj pshenicy selekcii FGBNU ANC «Donskoj» v usloviyah YUzhnoj zony Rostovskoj oblasti [Productivity and

adaptability of winter common wheat varieties developed by the FSBSI "ARC "Donskoy" in the southern part of the Rostov region] // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2021. № 2 (26). S. 261-272. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-261-270

Поступила: 20.02.26; доработана после рецензирования: 15.05.26; принята к публикации: 15.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Иванисов М. М. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Марченко Д. М. – общее научное руководство, критический анализ текста; Рыбась И.А., Киринов А.В. – выполнение полевых опытов, сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ ФЛАГОВЫХ ЛИСТЬЕВ РИСА НА ЭЛЕМЕНТЫ ПРОВОДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ И КОЛИЧЕСТВО КОЛОСКОВ В МЕТЕЛКАХ

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

В.Л. Газе, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

Е.Ю. Черпакова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

Н.В. Яновская, агроном лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

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

ФГБНУ «АНЦ «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3, vniizk30@mail.ru

Рис является важной сельскохозяйственной культурой, которой питается более 4 миллиардов людей. Необходимо повышать его урожайность. Известно, что индекс листовой поверхности и ширина флага во время цветения риса являются важными факторами для формирования продуктивности метёлки. В статье приводятся данные по изучению проводящей системы флаговых листьев растений риса, выращенных в полевых условиях в ОП «Пролетарское» Ростовской области. Объектами исследования были 47 коллекционных образцов риса ФГБНУ «АНЦ «Донской», различающихся по длине, ширине листьев и признакам метелок. Цель исследований – провести оценку влияния размеров флаговых листьев риса и их проводящей системы на семенную продуктивность метелок. Биометрический анализ образцов и сортов риса установил существенные различия по величине морфологических и анатомических признаков метелок и флаговых листьев. Выявлены положительные корреляции ширины листа с количеством проводящих пучков ($0,75 \pm 0,10$) и суммарной площадью всех пучков ($0,70 \pm 0,11$), а также с числом колосков на метелке ($0,49 \pm 0,13$). Расширение флагового листа на 1 см приводит к увеличению числа колосков в метелке на 66,3 шт., количества пучков – на 22,1 шт., площади всех пучков листа – на 137821 мкм². При изучении проводящей системы листьев растений (количество и площадь пучков) было установлено, что у растений с узкими листьями (0,8–1,3 см) проводящих пучков было в среднем 45,6 шт., что значительно меньше по сравнению с широколистными (2,0–2,5 см) образцами – 74,1 шт. Поэтому ширина флагового листа риса является маркерным признаком для отбора метёлок с высокой озернённостью и его рекомендуется использовать в селекционной работе.

Ключевые слова: рис, сорт, образец, метелка, лист, проводящие пучки.

Для цитирования: Костылев П.И., Газе В.Л., Черпакова Е.Ю., Яновская Н.В., Аксенов А.В. Влияние ширины флаговых листьев риса на элементы проводящей системы и количество колосков в метелках // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, № 3. С. 88-95. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-88-95.



THE EFFECT OF RICE FLAG LEAVES' WIDTH ON THE ELEMENTS OF THE CONDUCTING SYSTEM AND A NUMBER OF SPIKELETS IN PANICLES

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

V.L. Gaze, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

E.Yu. Cherpakova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

N.V. Yanovskaya, agronomist of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

A.V. Aksenov, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X.

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Rice is an important agricultural crop, providing food for over 4 billion people. It is necessary to increase its productivity. It is known that a leaf area index and a flag width during rice flowering are important factors in determining panicle productivity. The current paper has presented data from a study of the flag leaves' conducting system of rice grown in the field at the EF "Proletarskoye" in the Rostov Region. The objects of the study were 47 rice samples from the FSBSI "ARC "Donskoy", which varied in leaf length and width, and panicle characteristics. The purpose of the current study was to estimate the effect of rice flag leaf size and its conducting system on panicle seed production. Biometric analysis of rice samples and varieties has revealed significant differences in the size of morphological and anatomical traits of panicles and flag leaves. There have been found positive correlations between a leaf width, a number of conducting bundles (0.75 ± 0.10), total area of all bundles (0.70 ± 0.11), and a number of spikelets per panicle (0.49 ± 0.13). A flag leaf widening by

1 cm has resulted in increase in the number of spikelets per panicle by 66.3, the number of bundles by 22.1, and the area of all leaf bundles by 137,821 μm^2 . When studying the conducting system of plant leaves (a number and area of bundles), there has been found that plants with narrow leaves (0.8–1.3 cm) had an average of 45.6 conducting bundles, which is significantly fewer than broad-leaved (2.0–2.5 cm) samples (74.1 bundles). Therefore, a rice flag leaf width is a marker trait for selecting panicles with high grain density and is recommended for use in breeding work.

Keywords: rice, variety, sample, panicle, leaf, conducting bundles.

Введение. Рис – самая важная сельскохозяйственная культура в Азии, на его долю приходится 35–60% калорий, потребляемых 4 миллиардами людей. Глобальное потепление будет способствовать как испарению воды, так и транспирации листьев, что в будущем вызовет острую нехватку воды и может в значительной степени сдерживать рост листьев, но неясно, связано ли это с изменением структуры жилкования листьев. Существует мало исследований, касающихся влияния стрессоров на структуру жилкования растений риса. Индийские ученые сравнили 9 лучших сортов и линий по морфологическим признакам и скорости фотосинтеза флагового листа. Они установили, что индекс листовой поверхности и ширина флага во время цветения риса являются важными факторами для формирования продуктивности метёлки (Pushpavesa et al., 1974).

Как и у других злаков, листья риса состоят из листового влагалища, сочленения пластинок и листовой пластинки вдоль проксимально-дистальной оси. Листовая пластинка является основным местом фотосинтеза, где растения преобразуют солнечную энергию и углеродные ресурсы в фотосинтезирующие вещества, поэтому их длина, ширина и толщина влияют на его эффективность. Таким образом, архитектура листьев важна как для адаптации, так и для сельского хозяйства. Многие морфологические и функциональные характеристики листьев, такие как масса листа на единицу площади, фотосинтез листьев, содержание азота в листьях и количество жилок листа на единицу ширины, также называемое плотностью жилок листа или длиной жилок на единицу площади листа, коррелирует друг с другом. Более высокая гидравлическая проводимость растений (ГПР) жизненно важна для их роста, особенно в условиях стресса, вызванного дефицитом воды. Структура жилкования листьев является ключевым фактором, определяющим их гидравлическую проводимость, которая является основным компонентом ГПР для различных видов. Однако имеется мало информации о сортовых различиях в развитии жилок листьев у риса (Tabassum et al., 2016).

Проводящие сосудистые пучки листьев выполняют множество важных функций, таких как механическая поддержка, транспорт сахара и гормонов, а также транспортировка воды для транспирации. Фотосинтез листьев выше у листьев с более плотными жилками, поскольку он координируется с транспирацией. Система жилок листьев сильно различается по количеству, расположению, плотности и размеру жилок, а также по геометрии сосудистых пучков в жилках листьев. Структура жилкования листьев представляет собой идеальную, высокоструктурированную и эффективную систему снабжения растений водой. Плотность жилок листьев и толщина жилок – два основных свойства этой системы. Количество жилок на единицу ширины листа является основным фактором, определяющим гидравлическую проводимость листьев,

и имеет существенные различия у разных сортов риса. Увеличение количества жилок по ширине листа может значительно улучшить водообеспечение стеблей риса. Пропускная способность проводящей воду системы контролирует рост растений, поскольку она поддерживает гидравлическую связь между корнями и листьями (Tabassum et al., 2016).

Морфология листьев играет центральную и незаменимую роль в фотосинтезе и, как следствие, в способности растения накапливать ассимиляты, поскольку листья являются основными органами для улавливания солнечной энергии и поглощения углекислого газа (Olanlokun et al., 2026).

Проводящая система листьев снабжает растения водой и распределяет ассимиляты. Небольшое количество проводящих пучков и малые размеры их площади задерживают движение и накопление ассимилятов в листьях растений, снижаются функции дыхания, транспирации, фотосинтеза и замедляется рост, поэтому снижается урожайность зерновых культур (Газе и др., 2022).

Проводящие пучки листьев выполняют множество функций, включая механическую поддержку, транспортировку сахаров и гормонов, а также восполнение воды, потерянной из-за транспирации в процессе фотосинтеза. Огромное разнообразие наблюдается в расположении жилок, размере и плотности, а также в геометрии сосудов флоэмы и ксилемы внутри сосудистых пучков листьев. Жилки побегов обладают хорошей способностью к транспортировке воды и перемещению сахара из-за большого количества и/или размера сосудов ксилемы и флоэмы. Центральная область средней жилки листьев имеет увеличенную толщину, сопровождаемую двумя большими лакунами, называемыми прозрачными клетками, большим сосудистым пучком на абаксиальной стороне и дополнительным небольшим сосудистым пучком на адаксиальной стороне (Tanaka et al., 2023).

В ФГБНУ «АНЦ «Донской» методом андрогенеза получены растения регенеранты риса с различным уровнем пloidности (1n, 2n, 4n). При изучении проводящей системы листьев растений (количество и площадь пучков) было установлено, что у гаплоидных растений проводящие пучки были меньше по сравнению с ди- и тетраплоидными образцами. В листьях образцов риса с увеличением уровня пloidности формируется большее количество мелких и крупных проводящих пучков (Костылев и др., 2024).

Рисовый лист состоит из различных типов клеток, таких как мезофильные, эпидермальные, бугорчатые, каменистые, а также имеет сосудистые пучки с ксилемой и флоэмой. Равносторонний дорсо-вентрально уплощенный рисовый лист происходит из примордиальных клеток листа в апикальной части стебля. Обычно изменения в клеточном делении во время формирования оси, дифференцировки и специализации тканей в конечном итоге определяют форму листа. Синхронизированная активность всех этих

клеточных модулей эффективно контролирует функцию листьев. В отличие от листьев двудольных растений, листья злаков, включая рис, имеют однородную конфигурацию клеток мезофилла и симметрично расположенную склеренхиму вдоль сосудистых пучков в листовых пластинках. Высокая плотность жилкования листьев является как важной особенностью фотосинтеза, так и основополагающим признаком его эволюции, обеспечивая оптимальное соотношение и близость клеток мезофилла и обкладки сосудистых пучков для быстрого обмена фотосинтетическими продуктами (Chatterjee et al., 2016).

Структура листьев в значительной степени контролирует фотосинтез листьев и играет ключевую роль на каждом этапе, начиная от улавливания света и заканчивая биохимической фиксацией углекислого газа. Таким образом, изучение структуры листьев культивируемого риса может представлять непосредственный интерес для текущих исследований, направленных на повышение эффективности фотосинтеза и, таким образом, на повышение урожайности. Несмотря на то, что анатомия листьев является центральным компонентом, определяющим фотосинтез и газообмен листьев, очень мало внимания уделялось количественной оценке разнообразия анатомических признаков листьев риса для использования в программах селекции по генетическому улучшению растений риса (Chatterjee et al., 2016).

Развитие проводящих пучков, являющихся ключевыми элементами проводящей системы растения, оказывает значительное влияние на устойчивость к неблагоприятным факторам и продуктивность. Количество и характеристики проводящих пучков существенно зависят от видовых и сортовых особенностей риса. Изучение проводящей системы флагового листа важно не только с точки зрения понимания физиологии растения, но и для разработки методов улучшения урожайности и семенной продуктивности риса.

Повышение урожайности риса в ведущих селекционных центрах связывают с изменением морфотипа растений: низкорослые с зректоидными листьями и высокоозерненной крупной метелкой (Зеленский, Зеленская, 2024).

В ФНЦ риса проводится изучение фенотипической изменчивости агрономических и морфологических признаков генотипов двух подвидов риса, расшифровка результатов урожайности на юге России. Отмечается

значимая взаимосвязь между массой зерна с метелки и урожайностью с единицы площади (Коротенко и др., 2025).

Принято считать, что флаговый лист является наиболее значимым в развитии и накоплении массы зерновок. Установлена положительная корреляция между площадью флагового листа, параметрами его мезоструктуры и урожайностью (Даштоян, Калинина, 2024).

Цель исследований – провести оценку влияния размеров флаговых листьев риса и их проводящей системы на семенную продуктивность метелок.

Материалы и методы исследований. Объектом исследования являются 47 коллекционных образцов и сортов риса ФГБНУ «АНЦ «Донской», значительно различающиеся по длине и ширине флаговых листьев: Боярин, Южанин, AV1 x Лощман, Безлигульный x Боярин, Карлик, Вертикальный, Крупнозерный x Стрелец, Узколистный, Широколистный, Чернолистный и др., выращенных в 2025 году в коллекционном питомнике ОП «Пролетарское» Ростовской области. Повторность деленок – однократная.

Исследование параметров проводящей системы проводили в 2026 году в лаборатории клеточной селекции Центра фундаментальных научных исследований «АНЦ «Донской» по методу анатомо-гистохимического исследования растительных тканей Фурста Г.Г. (1979). Оценка проводящих пучков в листьях растений риса проводили путем микроскопии поперечного сечения флагового листа. Использовали стереомикроскоп исследовательского класса Shoptop SZX12, а изображения фиксировали цифровым фотоаппаратом DXM 1200 (Nikon). Для световой микроскопии использовали участки листьев из средней части пластинки, где проводили срезы на всю ширину. Материал фиксировали в 70% этаноле и окрашивали 1%-раствором метиленового синего. Срезы флаговых листьев каждого образца изучали в трехкратном повторении. Диаметры больших и малых проводящих пучков измеряли с помощью микрометра.

У этих же образцов риса проводили биометрический анализ метелок и зерна. Математическую обработку данных проводили по методике Б.А. Доспехова, с применением программы Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. Биометрический анализ образцов и сортов риса показал большие различия по величине морфологических и анатомических признаков (табл. 1, 2).

Таблица 1. Статистические параметры образцов риса, 2025 г.
Table 1. Statistical parameters of rice samples, 2025

Признаки	Длина метелки, см	Число выполненных зерен, шт.	Число пустых колосков, шт.	Число колосков общее, шт.	Масса 1000 зерен, г	Длина листа, см
Минимум	12,3	50,0	4,0	62,0	18,0	19,5
Максимум	26,5	237,0	163,0	303,0	50,0	41,0
Средние	18,4	157,6	30,1	186,6	29,0	28,8
Стандартное отклонение	3,5	49,7	32,2	53,7	5,7	5,4
Коэффициент вариации, %	19,0	31,5	103,4	28,8	19,6	18,7

Продолжение табл. 1

Признаки	Ширина листа, см	Толщина листа, мкм	Количество пучков, шт.	Диаметр пучка, мкм	Площадь одного пучка, мкм ²	Площадь всех пучков, мкм ²
Минимум	0,8	334,7	37,0	73,9	4281	218568
Максимум	2,5	758,4	85,0	112,4	9922	588743
Средние	1,67	506,6	58,0	88,3	6183	352890
Стандартное отклонение	0,4	100,2	11,7	8,9	1264	78472
Коэффициент вариации, %	22,7	19,8	19,2	9,9	19,4	19,6

Как видно из таблицы 1, образцы риса значительно различались между собой по длине метелки – от 12,3 до 26,5 см (в среднем 18,1 см), количеству выполненных зерен – от 50 до 237 (в среднем 157,6 шт.), общему количеству колосков, включая пустые, – от 62 до 303 (в среднем 186,6 шт.), массе 1000 зёрен – от 18 до 50 г (в среднем 28,8 г). Длина листа колебалась от 19,5 до 41 см (в среднем 28,8 см), ширина листа широко варьировала от 0,8 до 2,5 см (в среднем 1,67 см), толщина листа была в пределах от 334,7 до 758,4 мкм, количество проводящих пучков – от 37 до 85 штук, диаметр пучка – от 73,4 до 112,4 мкм, площадь одного пучка от 4281 до 9922 мкм², суммарная площадь всех пучков – от 218568 до 588743 мкм² (табл. 2).

Коэффициент вариации колебался по признакам от незначительного 9,9% (диаметр пучка) до очень высокого – 103,4% (число пустых колосков на метелке). По большинству признаков отмечена средняя вариабельность (18,7–19,8 %), а по числу зерен и колосков, а также ширине листьев – значительная (22,7–31,5 %).

В представленном наборе сортообразцов присутствовали как очень узколистные формы – от 0,8 до 1,4 см (31,9 %), так и очень широколистные – от 2,1 до 2,5 см (12,9 %). При этом большая часть коллекции была представлена образцами со средней шириной листьев – от 1,41 до 2,0 см (55,2%) (рис. 1).

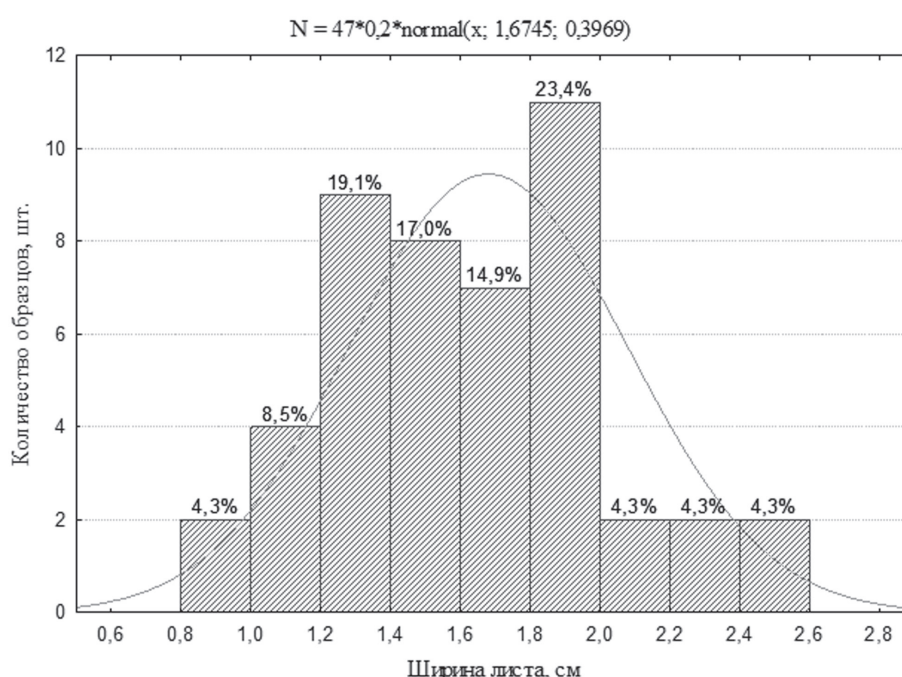


Рис. 1. Распределение образцов риса по ширине флагового листа, 2025 г.

Fig. 1. Distribution of rice samples according to a flag leaf width, 2025

Корреляционный анализ двенадцати признаков показал наличие между ними положительных и отрицательных, слабых, средних и сильных связей (табл. 3). Длина метёлки средне положительно коррелировала с длиной листа ($0,46 \pm 0,13$) и толщиной листа ($0,35 \pm 0,14$). Число выполненных зерен высоко

коррелировало с общим количеством колосков ($0,88 \pm 0,07$), средне – с шириной листа ($0,32 \pm 0,14$). Количество колосков имело среднюю положительную связь с шириной листа ($0,49 \pm 0,13$), количеством пучков ($0,33 \pm 0,14$) и площадью всех пучков ($0,33 \pm 0,14$). Ширина листа положительно коррелировала с количеством

проводящих пучков ($0,75 \pm 0,10$) и суммарной площадью всех пучков ($0,70 \pm 0,11$). При этом диаметр и площадь пучка не зависели от ширины листа, положительная

корреляция у них была только с толщиной листа ($0,38 \pm 0,14$).

Таблица 2. Корреляции признаков риса между собой, 2025 г.
Table 2. Correlations of rice traits, 2025

№	Длина метелки	Число выполненных зерен	Число пустых колосков	Число колосков общее	Масса 1000 зерен	Длина листа	Ширина листа	Толщина листа	Количество пучков	Диаметр пучка	Площадь пучка	Площадь всех пучков
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,00	$0,26 \pm 0,14$	$-0,15 \pm 0,15$	$0,18 \pm 0,15$	$0,06 \pm 0,15$	$0,46 \pm 0,13$	$-0,08 \pm 0,15$	$0,35 \pm 0,14$	$0,05 \pm 0,15$	$0,01 \pm 0,15$	$0,03 \pm 0,15$	$0,07 \pm 0,15$
2		1,00	$-0,11 \pm 0,15$	$0,88 \pm 0,07$	$-0,13 \pm 0,15$	$0,12 \pm 0,15$	$0,32 \pm 0,14$	$0,10 \pm 0,15$	$0,18 \pm 0,15$	$0,06 \pm 0,15$	$0,07 \pm 0,15$	$0,21 \pm 0,15$
3			1,00	$0,41 \pm 0,14$	$-0,36 \pm 0,14$	$0,14 \pm 0,15$	$0,35 \pm 0,14$	$0,09 \pm 0,15$	$0,28 \pm 0,14$	$-0,18 \pm 0,15$	$-0,17 \pm 0,15$	$0,13 \pm 0,15$
4				1,00	$-0,32 \pm 0,14$	$0,11 \pm 0,15$	$0,49 \pm 0,13$	$0,14 \pm 0,15$	$0,33 \pm 0,14$	$0,01 \pm 0,15$	$0,01 \pm 0,15$	$0,33 \pm 0,14$
5					1,00	$0,13 \pm 0,15$	$0,25 \pm 0,14$	$0,06 \pm 0,15$	$0,15 \pm 0,15$	$0,05 \pm 0,15$	$0,05 \pm 0,15$	$0,19 \pm 0,15$
6						1,00	$0,25 \pm 0,14$	$0,50 \pm 0,13$	$0,23 \pm 0,15$	$0,11 \pm 0,15$	$0,12 \pm 0,15$	$0,34 \pm 0,14$
7							1,00	$0,23 \pm 0,15$	$0,75 \pm 0,10$	$-0,01 \pm 0,15$	$-0,02 \pm 0,15$	$0,70 \pm 0,11$
8								1,00	$0,22 \pm 0,15$	$0,38 \pm 0,14$	$0,38 \pm 0,14$	$0,53 \pm 0,13$
9									1,00	$-0,33 \pm 0,14$	$-0,34 \pm 0,14$	$0,60 \pm 0,12$
10										1,00	$1,00 \pm 0,00$	$0,55 \pm 0,12$
11											1,00	$0,55 \pm 0,12$
12												1,00

Регрессионный анализ показал, что с увеличением ширины листовой пластинки флага повышается и количество пучков, и их суммарная площадь, что приводит, в конечном счете, к формированию большего числа колосков на метелке (рис. 2).

Расширение флагового листа на 1 см приводит к увеличению числа колосков в метелке на 66,3 шт., количества пучков – на 22,1 шт., площади всех пучков листа – на 137821 мкм².

$$\text{Количество колосков, шт.} = 75,7057 + 66,3257 \cdot x$$

$$\text{Количество пучков, шт.} = 21,0045 + 22,0812 \cdot x$$

$$\text{Площадь всех пучков, мкм}^2/1000 = 122,1135 + 137,8208 \cdot x$$

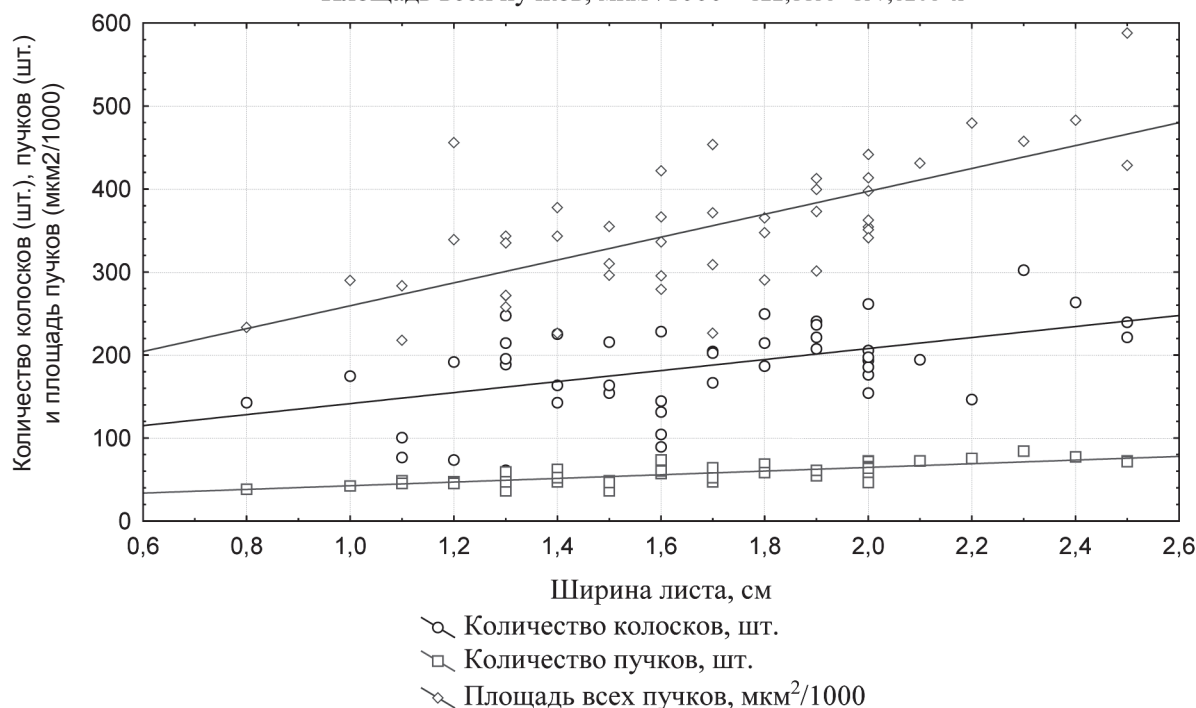


Рис. 2. Регрессионная зависимость количества колосков на метелке, проводящих пучков на листе и их площади от ширины флагового листа, 2025 г.

Fig. 2. Regression dependence of a number of spikelets per panicle, conducting bundles per a leaf, and their area on a flag leaf width, 2025

Количество и размеры проводящих сосудистых пучков в значительной степени зависят от видовых и сортовых особенностей риса. Жилки состоят из сосудов флоэмы и ксилемы, которые окружены клетками оболочки пучка. Они находятся в паренхиме, рядом со склеренхимой. Ксилема расположена в верхней, а флоэма – в нижней части листовой пластинки. Такая организация проводящих тканей листьев и стебля

формируют цельную непрерывную систему трубочек (Sakaguchi, Fukuda, 2008).

При сравнении количества проводящих пучков в группах у образцов узколистных (0,8–1,3 см) и широколистных (2,0–2,5 см) было установлено, что у первых их сформировалось от 39 до 49 шт. (в среднем 45,6 шт.), а у вторых – от 68 до 85 шт. (в среднем 74,1 шт.) или на 28,5 шт. больше (табл.4).

Таблица 3. Морфо-анатомические особенности двух групп образцов риса значительно различающихся по ширине флагового листа, 2025 г.

Table 3. Morphoanatomical features of two rice samples' groups differing significantly in a flag leaf width, 2025

Образец №	Название	Длина метелки, см	Число колосков, шт.	Масса 1000 зерен, г	Длина листа, см	Ширина листа, см	Количество пучков, шт.	Диаметр пучка, мкм
19	Боярин, стандарт	14,5	187	30	25,0	1,8	64	82
20	Южанин, стандарт	20,8	208	33	28,0	1,9	58	95
Узколистные								
26	AV1 х Лоцман	19,5	143	26	26,5	0,8	39	87
27	О-1641	15,5	175	23	29,5	1,0	43	93
44	Круглозерный	12,3	77	27,5	19,5	1,1	49	86
56	Узколистный, ГЛ	24,8	101	32	30,5	1,1	46	78
9	Вертикальный	19,0	192	25	29,0	1,2	46	112
6	Карлик 1, СКЧ	12,8	74	27	30,0	1,2	48	95
5	Карлик 2	12,5	62	31	21,5	1,3	44	86
24	AV1 х Лоцман	26,5	189	28	28,0	1,3	47	97
54	Узколистный, КП	20,5	248	25,8	21,0	1,3	48	94
Широколистные								
61	Широколистный 6	14,3	206	28,5	25,5	2,0	68	84
62	Широколистный 7	14,3	198	30	27,0	2,0	72	94
65	Широколистный 8	21,5	195	37	41,0	2,1	73	87
34	Широколистный 1,	24,8	147	38	35,0	2,2	76	90
38	Широколистный 5	15,8	303	30,5	26,0	2,3	85	83
37	Широколистный 4	19,0	264	18	31,5	2,4	78	89
35	Широколистный 2	19,0	240	31	37,0	2,5	73	101
36	Широколистный 3	16,3	222	34,2	31,0	2,5	72	87

При этом у стандартов Боярин и Южанин, имевших среднюю ширину листа 1,8–1,9 см, количество проводящих пучков также было промежуточным (58-64 штуки).

В качестве примера на рисунке 3 приведены фото среза листа узколистного образца риса №27 (О-1641). Ширина листа в средней части у него составила 1 см, количество пучков 43 шт., средний

диаметр – 93 мкм. Количество и размер крупных и мелких проводящих пучков подчиняется своеобразной структуре жилкования. Редко расположенные крупные жилки регулярно чередуются с несколькими (от 3 до 5) мелкими сосудистыми пучками. Помимо четырех пучков центральной жилки, у данного образца сформировалось 10 крупных и 29 мелких (рис. 3).

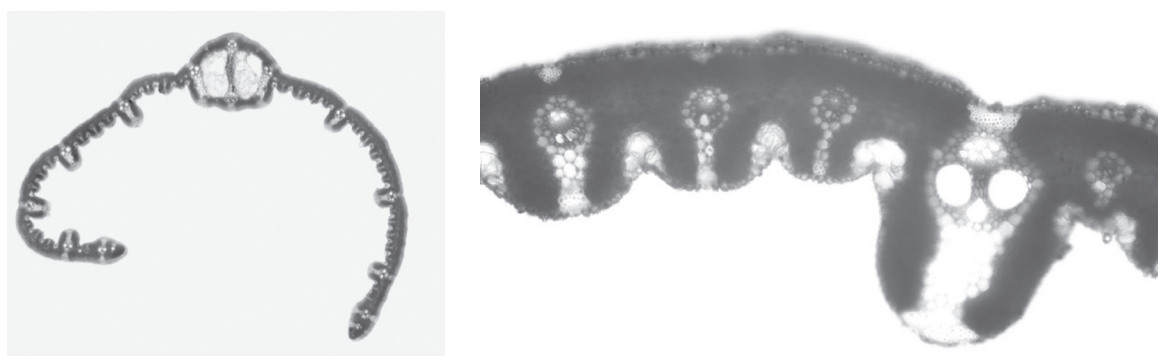


Рис. 3. Поперечный срез флагового листа узколистного образца риса №27 (О-1641), 2025 г.

Fig. 3. A flag leaf cross-section of narrow-leaved rice sample No.27 (O-1641), 2025

На рисунке 4 представлены фото среза листа образца риса с широким флагом – №35 (Широколистный).

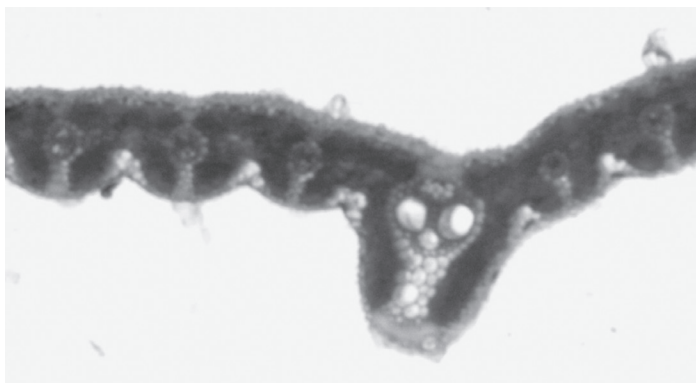


Рис. 4. Поперечный срез флагового листа образца риса №35 (Широколистный), 2025 г.

Fig. 4. A flag leaf cross-section of rice sample No.35 (Broad-leaved), 2025

Ширина листа в средней части у него составила 2,5 см, количество пучков 73 шт., средний диаметр пучка – 101 мкм. На одну крупную жилку приходится несколько (от 3 до 6) мелких. У этого образца проявилась редкая особенность – наличие двух центральных жилок листа, где на каждой сформировалось по 4 воздухоносной полости (аэренхима) и по 8 сосудистых пучков. Помимо 16 пучков центральной жилки, у данного образца сформировалось 12 крупных и 45 мелких пучков (рис. 4).

Выводы. В процессе биометрического анализа коллекционных образцов и сортов риса установлены большие различия по степени проявления ряда морфо-анатомических признаков, таких как длина метелки (12,3–26,5 см), количество зерен (50–237 шт.), количество колосков (62–303 шт.), масса 1000 зёрен (18–50 г), длина листа (19,5–41 см), ширина листа (0,8–2,5 см), толщина листа (335–758 мкм), количество проводящих пучков (37–85 шт.), диаметр пучка (73,4–112,4 мкм).

1. Корреляционный анализ показал, что ширина листа положительно коррелировала с количеством колосков на метелке ($0,49 \pm 0,13$), проводящих пучков ($0,75 \pm 0,10$) и их суммарной площадью ($0,70 \pm 0,11$). При

увеличении ширины флагового листа на один сантиметр происходит повышение количества колосков в метелке на 66,3 шт., числа пучков – на 22,1 шт., площади всех пучков листа – на 137821 мкм². Оценки проводящей системы флаговых листьев растений риса показали, что у узколистных растений (0,8–1,3 см) проводящих пучков было в среднем 45,6 шт., что значительно меньше по сравнению с широколистными (2,0–2,5 см) образцами – 74,1 шт.

2. У узколистного образца №27 (О-1641) (ширина 1 см) помимо четырех пучков центральной жилки, сформировалось 10 крупных и 29 мелких, чередующихся в соотношении примерно 1 к 3. У образца риса с широким флагом – №35 (Широколистный) кроме 16 пучков на двух центральных жилках, сформировалось 12 крупных и 45 мелких проводящих пучков.

3. Таким образом, ширина флагового листа риса является важным фактором для формирования семенной продуктивности метёлки, что необходимо учитывать в селекционной работе.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FNFN-2025-0008, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской».

Библиографический список

- Газе В.Л., Яновская Н.В., Лобунская И.А., Костылев П.И., Марченко Д.М. Проводящая система флагового листа озимой пшеницы в условиях модельной засухи // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 3. С. 57–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-57-63
- Даштоян Ю.В., Калинина А.В. Некоторые анатомические, морфологические и физиологические особенности флагового листа интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops columnaris* Zhuk. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т.185. №2. С. 60-68. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-60-68
- Зеленский Г.Л., Зеленская О.В. Селекция риса на повышение его продуктивности (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024. Т. 185, № 1. С. 212-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-212-223
- Костылев П. И., Черпакова Е. Ю., Яновская Н. В. Проводящая система листьев риса в зависимости от уровня плоидности // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 61–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-61-69
- Коротенко Т.Л., Гаркуша С.В., Иванова А.Е. Фенотипические и агрономические различия сортов риса агроэкотипов *Oryza sativa* L. subsp. *indica* и subsp. *japonica* Kato в экологических условиях юга России // Труды КубГАУ. 2025. Т.121, С.166-174. DOI: 10.21515/1999-1703-121-166-174
- Chatterjee J., Dionora J., Elmido-Mabilangan A., Wanchana S., Thakur V., Bandyopadhyay A., Brar D.S., Quick W.P. The evolutionary basis of naturally diverse rice leaves anatomy // PLoS ONE. 2016. Vol. 11 (10): e0164532. DOI: 10.1371/journal.pone.0164532
- Olanlokun F.S., Dada O.A., Ncama K. The role of leaf morphology and sustainable management practices on optimizing nitrogen use efficiency of upland rice: A Review // Crops. 2026. Vol. 6(2). P. 46. DOI: 10.3390/crops6020046
- Pushpavesa R., Escuro P.B., Pantastico E.B. The influence of some morphological leaf characters and photosynthetic efficiency on yield of rice // Philippine Agriculturist. 1974. Vol. 58, P. 30–39.

9. Tabassum M.A, Zhu G., Hafeez A., Wahid M.A., Shaban M., Li Y. Influence of leaf vein density and thickness on hydraulic conductance and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.) during water stress // Scientific Reports. 2016. 6:36894. DOI: 10.1038/srep36894

10. Tanaka W., Yamauchi T., Tsuda K. Genetic basis controlling rice plant architecture and its modification for breeding // Breeding Science. 2023. 73. P.3–45. DOI: 10.1270/jsbbs.22088

References

1. Gaze V.L., YAnovskaya N.V., Lobunskaya I.A., Kostylev P.I., Marchenko D.M. Provodyashchaya sistema flagovogo lista ozimoy pshenicy v usloviyah model'noj zasuhi [Conducting system of the winter wheat flag leaf under conditions of simulated drought] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2022. T. 14, № 3. S. 57–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-57-63

2. Dashtoyan YU.V., Kalinina A.V. Nekotorye anatomicheskie, morfologicheskie i fiziologicheskie osobennosti flagovogo lista introgressivnykh linij myagkoj pshenicy s geneticheskim materialom *Aegilops columnaris* Zhuk [Some anatomical, morphological, and physiological features of the flag leaf of introgressed lines of common wheat with the genetic material *Aegilops columnaris* Zhuk] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2024. T.185. №2. S. 60-68. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-2-60-68

3. Zelenskij G.L., Zelenskaya O.V. Selekcija risa na povyshenie ego produktivnosti (obzor) [Rice breeding for higher crop productivity (a review)] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2024. T. 185, № 1. C. 212-223. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-1-212-223

4. Kostylev P. I., Cherpakova E. YU., YAnovskaya N. V. Provodyashchaya sistema list'ev risa v zavisimosti ot urovnya ploidy [The conducting system of rice leaves depending on a ploidy level] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2024. T. 16, № 1. S. 61–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-61-69

5. Korotenko T.L., Garkusha S.V., Ivanova A.E. Fenotipicheskie i agronomicheskie razlichiya sortov risa agroekotipov *Oryza sativa* L. subsp. indica i subsp. japonica Kato v ekologicheskikh usloviyah yuga Rossii [Phenotypic and agronomic differences among rice varieties of the agroecotypes *Oryza sativa* L. subsp. indica and subsp. japonica Kato under ecological conditions in the south of Russia] // Trudy KubGAU. 2025. T.121, S.166-174. DOI: 10.21515/1999-1703-121-166-174

6. Chatterjee J., Dionora J., Elmido-Mabilangan A., Wanchana S., Thakur V., Bandyopadhyay A., Brar D.S., Quick W.P. The evolutionary basis of naturally diverse rice leaves anatomy // PLoS ONE. 2016. Vol. 11 (10): e0164532. DOI: 10.1371/journal.pone.0164532

7. Olanlokun F.S., Dada O.A., Ncama K. The role of leaf morphology and sustainable management practices on optimizing nitrogen use efficiency of upland rice: A Review // Crops. 2026. Vol. 6(2). P. 46. DOI: 10.3390/crops6020046

8. Pushpavesa R., Escuro P.B., Pantastico E.B. The influence of some morphological leaf characters and photosynthetic efficiency on yield of rice // Philippine Agriculturist. 1974. Vol. 58, P. 30–39.

9. Tabassum M.A, Zhu G., Hafeez A., Wahid M.A., Shaban M., Li Y. Influence of leaf vein density and thickness on hydraulic conductance and photosynthesis in rice (*Oryza sativa* L.) during water stress // Scientific Reports. 2016. 6:36894. DOI: 10.1038/srep36894

10. Tanaka W., Yamauchi T., Tsuda K. Genetic basis controlling rice plant architecture and its modification for breeding // Breeding Science. 2023. 73. P.3–45. DOI: 10.1270/jsbbs.22088

Поступила: 10.04.26; доработана после рецензирования: 26.05.26; принята к публикации: 28.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Костылев П. И. – общее научное руководство, постановка цели и задач, анализ литературных источников, формирование методологии и концепции исследования, анализ данных и их интерпретация, написание текста статьи; Аксенов А. В. – закладка опыта, посев сортов, отбор растений для анализа; Газе В.Л., Черпакова Е.Ю., Яновская Н.В. – структурный анализ, изготовление препаратов, сбор микроскопических данных, промеры и подсчеты сосудистых пучков, заполнение таблиц.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.282+57.017.64+631.552+631.52

DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-96-101

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПРОТЕИНА
В ЗЕЛЕННОЙ МАССЕ СУДАНСКОЙ ТРАВЫ

Е.А. Шишова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, shischovae@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622;

В. В. Ковтунов^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

Н. А. Ковтунова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

А. Е. Романюкин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго, sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4349-8489;

Н. С. Кравченко¹, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической и технологической оценки, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548.

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3;

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет,

344003, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, зд. 1.

В условиях изменения климата для увеличения посевных площадей и расширения потенциала использования культуры на кормовые цели для различных видов животных, изучение главного показателя питательности – содержания белка – приобретает особую актуальность. Цель данной работы – анализ особенностей накопления сырого протеина в сухом веществе зеленой массы суданской травы. Исследования проведены в 2023–2025 гг. Почва: обыкновенный карбонатный чернозем, характеризующийся содержанием гумуса 3,2%, фосфора – 10–40 мг/кг, азота – 70–110 мг/кг, калия – 300–500 мг/кг почвы. Гидротермический коэффициент имел значения от 0,24 (2024 г.) до 0,81 (2023 г.), что говорит о контрастных условиях проведенных исследований. Сорта суданской травы селекции «ФГБНУ «АНЦ «Донской» Алиса, Грация, Сельчанка выступили в качестве объекта исследований. Закладку опытов проводили в соответствии с Методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. По содержанию сырого протеина изученные сорта имели близкие значения, немного превысил их сорт Сельчанка во все фазы вегетации. В фазе кущения отмечено наибольшее содержание сырого протеина (18,8–19,7%). К фазе выметывания данный показатель снижается почти в 2 раза (10,0–11,1%), и продолжает снижаться до конца вегетации. Связано это со снижением доли листьев в общем урожае зеленой массы с 36% (фаза выхода в трубку) до 18% в фазу полного созревания. Накопление содержания сырого протеина в листьях составило 12,8–15,4%, что на 40–85% выше, чем в стебле и на 18–39%, чем во всем растении. В среднем по сортам, регресс содержания сырого протеина во втором укосе составляет 17,1% к первому укосу, урожайности зеленой массы – 26,3%, урожайности сухого вещества – 34,1%, сбор переваримого протеина – 37,5%, сбора кормовых единиц 1,1%.

Ключевые слова: сорт, протеина, урожайность, вегетация, лист, укос, зеленая масса.

Для цитирования: Шишова Е.А., Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А., Романюкин А.Е., Кравченко Н.С. Особенности накопления протеина в зеленой массе суданской травы // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, №3. С. 96-101. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-96-101.

FEATURES OF PROTEIN ACCUMULATION
IN GREEN MASS OF SUDAN GRASS

E.A. Shishova¹, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, shischovae@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622;

V.V. Kovtunov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

N.A. Kovtunova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter wheat breeding and seed production, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

A.E. Romanyukin¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for sorghum breeding and seed production, sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4349-8489;

N.S. Kravchenko¹, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical, technological and agrochemical estimation of breeding material and seed quality, ninakravchenko78@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0003-3388-1548.

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3;

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University",
344000, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1.

Due to climate change, in order to increase crop areas and expand the potential for using crops as feed for various animals, the study of the main nutritional indicator – protein content – is of great relevance. The purpose of the current study was to analyze the accumulation of crude protein in the dry matter of green mass of Sudan grass. The study was conducted in 2023–2025. The soil was ordinary carbonate blackearth with 3.2% of humus, 10–40 mg of phosphorus, 70–110 mg of nitrogen, and 300–500 mg of potassium per kg. The hydrothermal coefficient ranged from 0.24 (in 2024) to 0.81 (in 2023), indicating the contrasting conditions of the study. The objects of the study were the Sudan grass varieties Alisa, Gratsiya, and Selchanka, developed by the FSBSI "ARC "Donskoy". The trials were conducted in accordance with the Methodology of the State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops. The studied varieties had similar crude protein percentage, with the variety Selchanka slightly exceeding it at all stages of the vegetation period. There has been recorded the highest crude protein percentage during the tillering stage (18.8–19.7%). By the heading phase, this value has dropped almost twofold (10.0–11.1%) and continued to decline up to the end of the vegetation period. This was due to a decrease in the proportion of leaves in the total green mass yield from 36% (a booting stage) to 18% at a dead-ripe stage. Crude protein accumulation in leaves amounted to 12.8–15.4%, which was 40–85% higher than in the stem and 18–39% higher than in the whole plant. On average, among the varieties, the regression of crude protein content in the second cutting was 17.1% compared to the first cutting, green mass productivity was 26.3%, dry matter productivity was 34.1%, digestible protein yield was 37.5%, and feed unit yield was 1.1%.

Keywords: variety, protein, productivity, vegetation, leaf, cutting, green mass.

Введение. В последние годы возрос интерес к суданской траве из-за высокого потенциала в производстве кормов и устойчивости к засухе во многих регионах не только России, но и в мире. Благодаря своему высокому потенциалу и ценным хозяйственно-ценным качествам в ряде стран она используется, преимущественно, на пастбищах, на сено, силос. Данная культура позволяет получать стабильные урожаи зеленой и сухой массы с единицы площади с высоким качеством, как при самостоятельном возделывании, так и в смешанных посевах с такими культурами как соя, горох, вика, кукуруза, ячмень, амарант, подсолнечник и т.д. (Муслимов, 2023). Важным условием современных селекционных программ является сочетание в сортах устойчивого продуктивного потенциала с высоким качеством кормов для определенных агроэкологических условий (Грабовец и Бирюков, 2021). В связи с этим, генетическое улучшение суданской травы направлено на повышение продуктивности зеленой и сухой массы, адаптивности, облиственности, скорости роста при скашивании, устойчивости к болезням и, главное, качества корма. Установлено, что урожайность зеленой массы и содержание сырого протеина имеют обратную корреляцию. Так в раннее проведенных нами исследованиях, коэффициент корреляции составлял $-0,18 \pm 0,07$, при увеличении протеина на 1% урожайность снижалась на $93,8 \text{ г/м}^2$. Однако, в результате анализа коллекции было выделено несколько образцов, сочетающих урожайность ($3888\text{--}5376 \text{ г/м}^2$) с содержанием сырого протеина $11,91\text{--}12,74\%$, а так же урожайностью $3090\text{--}3976 \text{ г/м}^2$ и протеином $14,75\text{--}16,13\%$. Это подтверждает возможность сочетания в сорте высокой урожайности и качества (Ковтунова и Шишова, 2023).

Одним из основных критериев при оценке сорта любой культуры является повышение питательной ценности корма. По данным И.Голубиновой содержание сырого протеина снижается по мере вегетации и варьирует в зависимости от сорта, срока посева,

интенсивности скашивания и густоты стояния растений, в то время как содержание клетчатки увеличивается, что является предпосылкой снижения питательной ценности и усвояемости корма (Голубинова и др., 2016).

Знание питательной ценности кормов позволяет не только правильно сбалансировать рационы, но и способствует принятию стратегий управления и выбору сортов, направленных на увеличение их питательной ценности. Селекционерам это позволит провести отбор линий, образцов для использования в гибридизации, так как следует учитывать наследование данного показателя по типу доминирования меньших значений. В целом, качественные показатели и влияние на них различных факторов слабо освещены в литературе. В связи с этим, в условиях изменения климата для увеличения посевных площадей и расширения потенциала использования культуры на кормовые цели для различных видов животных, изучение главного показателя питательности – содержания белка – приобретает особую актуальность.

Цель данной работы – анализ особенностей накопления сырого протеина в сухом веществе зеленой массы суданской травы.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2023–2025 гг. в ФГБНУ «АНЦ «Донской» (г. Зерноград Ростовской области). Почва: обыкновенный карбонатный чернозем, характеризующийся содержанием гумуса 3,2%, фосфора – 10–40 мг/кг, азота – 70–110 мг/кг, калия – 300–500 мг/кг почвы (Зональные системы земледелия Ростовской области на 2022–2026 годы, 2022). Гидротермический коэффициент за период вегетации сорго (май–сентябрь) имел значения в 2023 г. 0,81; в 2024 г. – 0,24; в 2025 г. – 0,60, что говорит о контрастных условиях проведенных исследований.

Сорта суданской травы селекции «ФГБНУ «АНЦ «Донской» Алиса, Грация, Сельчанка выступили в качестве объекта исследований.

Закладку опытов проводили в соответствии с Методикой государственной комиссии по сорто-

испытанию сельскохозяйственных культур. Посев осуществляли в оптимальные сроки (первая-вторая декада мая) широкорядным способом (междурядье 70 см, норма высева 350 тыс. шт./га). Площадь делянки 21 м², 3 повторности, расположение делянок систематическое, площадь опыта 189 м². В течение вегетации осуществляли два укоса зеленой массы по достижению фазы выметывания.

Для определения содержания сухого вещества, протеина и клетчатки проводили отбор средних проб зеленой массы в фазу «кущение», «выметывание»,

«цветение», «молочная спелость», «полная спелость» согласно общепринятых методик (ГОСТ 31640-2012, ГОСТ 13496.4-2019, ГОСТ 31675-2012).

Математическую обработку осуществляли по методикам, изложенным Б. А. Доспеховым.

Результаты и их обсуждение. На примере сортов суданской травы Алиса, Грация и Сельчанка на рисунке 1 показан регресс содержания сырого протеина в сухом веществе зеленой массы по мере роста и развития растения.

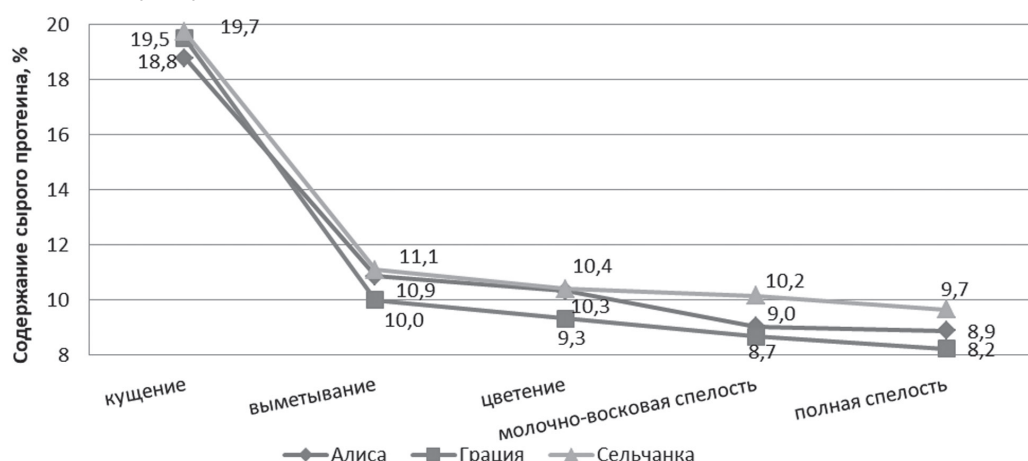


Рис. 1. Регресс содержания сырого протеина в зеленой массе суданской травы в течение вегетации, 2023-2025 гг.

Fig. 1. Regression of crude protein percentage in green mass of Sudan grass during a vegetation period, 2023-2025

По данному показателю изученные сорта имели близкие значения, немного превысил их сорт Сельчанка во все фазы вегетации.

В фазе кушения отмечено наибольшее содержание сырого протеина (18,8–19,7%). Однако, в этот период происходит только закладка побегов, растения достигают высоты не более 50 см. К фазе выметывания растения полностью сформированы, с максимальными значениями размеров листьев. Содержание сырого протеина к этому моменту снижается почти в 2 раза и достигает 10,0–11,1%, и продолжает снижаться до конца вегетации. К фазе полной спелости зерна наблюдается увеличение углеводов, кремния, лигнина,

сухого вещества и клетчатки, накапливается больше волокон, увеличивается доля стеблей.

Регресс содержания сырого протеина объясняется уменьшением в биомассе удельного веса листьев, в которых содержат больше белка, чем в других частях растений. Так на рисунке 2 на примере сорта Алиса показано изменение соотношения различных частей растений в зависимости от фазы вегетации. К полной спелости зерна доля листьев в общем урожае зеленой массы составляет 18%, что в 2 раза ниже, чем в фазу выхода в трубку и выметывания. У сортов Грация и Сельчанка аналогичные результаты.

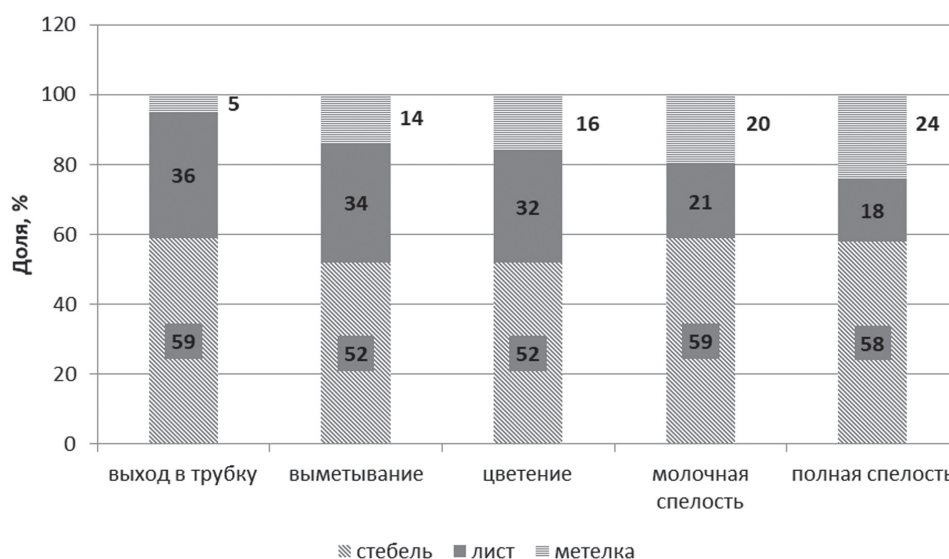


Рис. 2. Соотношение различных частей растения в общей биомассе в течение вегетации, сорт Алиса, 2023–2025 гг.

Fig. 2. Proportion of different plant parts in total biomass during a vegetation period, the variety Alisa, 2023–2025

Это согласуется с другими исследователями, утверждающими о наибольшем приросте листьев в период «всходы-кущение» и дальнейшем снижении темпов их роста (Cruz и др., 2025; Bazitov и Enchev, 2021). По мере роста растений меняется строение растений, новые листья уже не формируются, нижние начинают усыхать, протеин из нижней части перемещается в генеративную часть, где формируется зерно, что в результате приводит к снижению продуктивности

и качества биомассы суданской травы. В фазу выметывания наблюдается наилучшее сочетание урожайности и качества зеленой массы.

Наибольшее накопление сырого протеина отмечено в листьях. По всем изученным сортам в листьях изучаемый признак имел значения 12,84–15,43%, что на 40–85% выше, чем в стебле и на 18–39%, чем во всем растении (рис. 3).

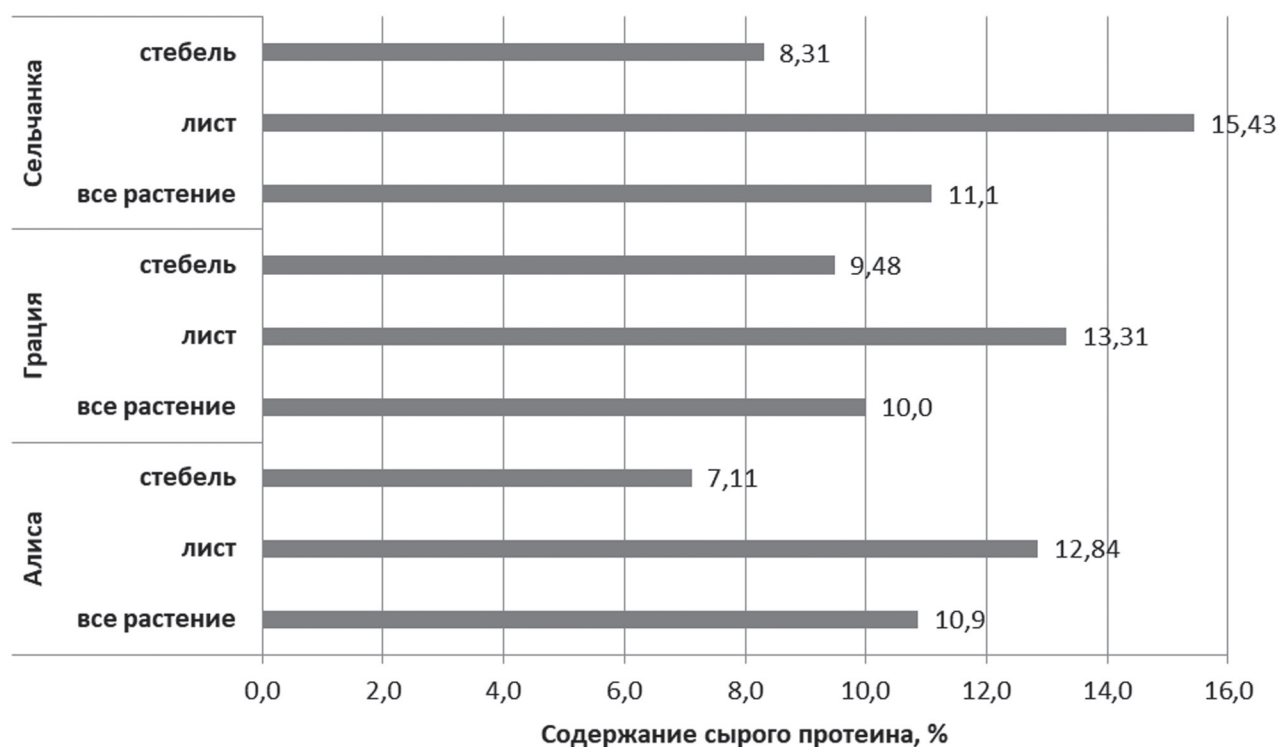


Рис. 3. Содержание сырого протеина в различных частях растения (фаза выметывания), 2023–2025 гг.

Fig. 3. Crude protein percentage in different plant parts (a heading phase), 2023–2025

Растения содержат больше сырого протеина в листьях из-за более высокой способности фотосинтеза и более высокого содержания азота и питательных веществ в листьях по сравнению со стеблями и корнями. В исследованиях F.Alatürk (2024) содержание сырого протеина в листьях и стеблях пропорционально уменьшалось на 64% в листьях и на 60% – в стеблях с увеличением высоты.

Питательная ценность любой продукции растениеводства определяется условиями производства, включающими не только метеоусловия, но и сроки, способы посева, уборки и т.д. (Tulu и др., 2025; Бычкова и др., 2024). Согласно проведенному ранее анализу, содержание сырого протеина имеет отрицательную

корреляционную связь с ГТК ($r=-0.78...-0.92$). Его увеличение на 0,1 сопровождается снижением содержания сырого протеина на 0,82-1,22% (Ковтунова и др., 2024).

По результатам дисперсионного анализа, проведенного Капустиным С.И. и др. (2025), на содержание сырого протеина наибольшее влияние оказывает фактор «срок уборки», его вклад в общую изменчивость признака составляет 69,8%, фактора «ширина междурядий» - 5,4%, фактора «сорт» - 3,1%.

В таблице 1 приведена характеристика изученных сортов по основным хозяйственно-ценным признакам в зависимости от укоса.

Таблица 1. Характеристика сортов суданской травы, 2023–2025 гг.
Table 1. Characteristics of Sudan grass varieties, 2023–2025

Показатель		Алиса	Грация	Сельчанка	Среднее
Содержание сырого протеина, % (НСП ₀₅ =0,43%)	1 укос	7,11	9,48	8,31	8,30
	2 укос	6,15	8,96	8,01	7,71
Содержание сырой клетчатки, % (НСП ₀₅ =1,7%)	1 укос	43,48	44,27	42,53	43,43
	2 укос	46,53	45,28	46,16	45,99
Высота растений, см (НСП ₀₅ =10 см)	1 укос	160	177	165	167
	2 укос	102	120	121	114
Облиственность, % (НСП ₀₅ =1%)	1 укос	34	35	34	34
	2 укос	29	29	28	29
Продолжительность периода «всходы-1 укос», дн. (НСП ₀₅ =1 день)	1 укос	53	53	51	52
	2 укос	55	56	54	55
Урожайность зеленой массы, т/га (НСП ₀₅ =2 т/га)	1 укос	20	19	19	19
	2 укос	13	15	14	14
Урожайность сухого вещества, т/га (НСП ₀₅ =0,6 т/га)	1 укос	4,4	4,6	4,2	4,4
	2 укос	2,3	3,5	2,7	2,9
Сбор переваримого протеина, т/га (НСП ₀₅ =0,02 т/га)	1 укос	0,21	0,29	0,23	0,24
	2 укос	0,10	0,21	0,15	0,15
Сбор кормовых единиц (НСП ₀₅ =1 к.е.)	1 укос	91	93	90	92
	2 укос	91	92	91	91

Во втором укосе зеленой массы наблюдается снижение высоты растений, что объясняет более низкое содержание сухого вещества. Снижение облиственности влияет на фотосинтетическую активность, что влечет уменьшение урожайности зеленой массы и содержания сырого протеина. В среднем по сортам, регресс содержания сырого протеина во втором укосе составляет 17,1% к первому укосу, урожайности зеленой массы – 26,3%, урожайности сухого вещества – 34,1%, сбор переваримого протеина – 37,5%, сбора кормовых единиц 1,1%.

Выводы.

1. Наблюдается снижение содержания сырого протеина от первого укоса ко второму: в зеленой массе изученных сортов суданской травы в первом укосе значение данного показателя 10,0–11,1% (фаза выметывания), во втором – 6,15–8,96%, снижение составило 17,1% к первому укосу.

2. В течение роста и развития растений так же

наблюдается снижение уровня данного показателя с 18,8–19,7% (кущение) до 8,2–9,7% (полная спелость). Это объясняется снижением в 2 раза доли листьев в общем урожае зеленой массы, где в которых происходит наибольшее накопление содержания сырого протеина: 12,8–15,4%, что на 40–85% выше, чем в стебле и на 18–39%, чем во всем растении. Регресс содержания урожайности зеленой массы во втором укосе составляет 26,3% к первому укосу, урожайности сухого вещества – 34,1%, сбор переваримого протеина – 37,5%, сбора кормовых единиц 1,1%.

3. По содержанию сырого протеина как в первом, так и во втором укосе наибольшие значения отмечены у сорта Грация (9,48 и 8,96% соответственно).

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № FNFN-2025-0010).

Библиографический список

1. Бычкова В.В., Кибальник О.П., Сазонова И.А., Каменева О.Б. Влияние метеорологических условий года на биохимический состав зерна сорго // Аграрная наука. 2023. №12. С 102-107. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107
2. Грабовец А.И., Бирюков К.Н. Роль сорта в стабилизации производства зерна в широком диапазоне агроклиматических факторов // Земледелие. 2021. №5. С.41–45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45
3. Капустин С. И., Багринцева Н.А., Самойленко А.В., Капустин А.С., Самокиш Н.В. Влияние способов посева и сроков скашивания сорго-суданковых гибридов на зоотехнический анализ и аминокислотный состав их зеленой массы // Таврический вестник аграрной науки. 2025. № 4 (44). С. 46–58. DOI: 10.5281/zenodo.17587264.
4. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В., Романюкин А.Е., Шишова Е.А., Кравченко Н.С. Динамика содержания сухого вещества и протеина в зеленой массе суданской травы в зависимости от способа посева // Аграрная наука Северо-Востока. 2024. № 25.С. 444-452. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.3.444-452
5. Ковтунова Н.А., Шишова Е.А. Продуктивный и питательный потенциал суданской травы // Аграрная наука Северо-Востока. 2023. №24. 4.С. 646-655. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655
6. Муслимов М. Г. Современное состояние и инновационные пути решения проблем в кормопроизводстве республики Дагестан. Проблемы развития АПК региона. 2023. № 1(53). С. 61-66. DOI: 10.52671/20790996_2023_1_61

7. Alatürk F. Effects of harvest height and time on hay yield and quality of some sweet sorghum and sorghum Sudan-grass hybrid varieties. *Peer J.* 2024, 12: e17274. DOI: 10.7717/peerj.17274
8. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply. *Agricultural science.* 2021, 13, 31: 81-86. DOI: 10.22620/agrisci.2021.31.012
9. Cruz A., Bangari M., Aviles D., Impa S.M., Ostmeier T., Ritchie G., Hayes C., Norris A., Jagadish S.V. K. Assessment of biomass and nutritive value of warm season annual forages, including prussic acid free sorghum. *Plant Physiology Reports.* 2025, 30: 749–761. DOI: 10.1007/s40502-025-00900-0
10. Golubanova I., Naydenova Y., Enchev S., Kikindonov Tz., Ilieva A., Marinov-Serafimov P. Biochemical evaluation of forage quality from mutant forms Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.). *Rasteniyevedni nauki (Bulgarian Journal of Crop Science).* 2016, 53(5-6): 76–84 (Bg)
11. Tulu A., Diribsa M., Gadisa B., Temesgen W. Stover yield, morphological fractions and nutrient composition of five stay-green sorghum (*Sorghum biochar* L.) varieties at the physiological maturity stage. *Heliyon.* 2025, 6; 11(1): e41753. DOI: 10.1016/j.heliyon.2025.e41753.

References

1. Bychkova V.V., Kibal'nik O.P., Sazonova I.A., Kameneva O.B. Vliyanie meteorologicheskikh uslovij goda na biokhimicheskiy sostav zerna sorgo [The effect of weather conditions on the biochemical composition of sorghum grain] // *Agrarnaya nauka.* 2023. №12. S. 102-107. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-377-12-102-107
2. Grabovec A.I., Biryukov K.N. Rol' sorta v stabilizatsii proizvodstva zerna v shirokom diapazone agroklimaticheskikh faktorov [The role of a variety in stabilizing grain production under a wide range of agroclimatic factors] // *Zemledelie.* 2021. №5. S.41–45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45
3. Kapustin S. I., Bagrineva N.A., Samojlenko A.V., Kapustin A.S., Samokish N.V. Vliyanie sposobov poseva i srokov skashivaniya sorgo-sudankovykh gibridov na zootehnicheskij analiz i aminokislotnyy sostav ih zelenoy massy [The effect of sowing methods and harvesting time of sorghum-Sudan hybrids on the zootechnical analysis and amino acid composition of their green mass] // *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki.* 2025. № 4 (44). S. 46–58. DOI: 10.5281/zenodo.17587264
4. Kovtunova N.A., Kovtunov V.V., Romanyukin A.E., Shishova E.A., Kravchenko N.S. Dinamika soderzhaniya suhogo veshchestva i proteina v zelenoy masse sudanskoj travy v zavisimosti ot sposoba poseva [Dynamics of dry matter and protein percentage in Sudan green mass depending on sowing method] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka.* 2024. № 25. S. 444-452. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.3.444-452
5. Kovtunova N.A., Shishova E.A. Produktivnyy i pitatel'nyy potencial sudanskoj travy [Productive and nutritional potential of Sudan grass] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka.* 2023. №24, 4.S. 646-655. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.646-655
6. Muslimov M. G. Sovremennoe sostoyanie i innovatsionnye puti resheniya problem v kormoproizvodstve respubliki Dagestan. Problemy razvitiya APK regiona [Current state and innovative solutions to feed production problems in the Republic of Dagestan]. 2023. № 1(53). S. 61-66. DOI: 10.52671/20790996_2023_1_61
7. Alatürk F. Effects of harvest height and time on hay yield and quality of some sweet sorghum and sorghum Sudan-grass hybrid varieties. *Peer J.* 2024, 12: e17274. DOI: 10.7717/peerj.17274
8. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply. *Agricultural science.* 2021, 13, 31: 81-86. DOI: 10.22620/agrisci.2021.31.012
9. Cruz A., Bangari M., Aviles D., Impa S.M., Ostmeier T., Ritchie G., Hayes C., Norris A., Jagadish S.V. K. Assessment of biomass and nutritive value of warm season annual forages, including prussic acid free sorghum. *Plant Physiology Reports.* 2025, 30: 749–761. DOI: 10.1007/s40502-025-00900-0
10. Golubanova I., Naydenova Y., Enchev S., Kikindonov Tz., Ilieva A., Marinov-Serafimov P. Biochemical evaluation of forage quality from mutant forms Sudan grass (*Sorghum sudanense* (Piper) Stapf.). *Rasteniyevedni nauki (Bulgarian Journal of Crop Science).* 2016, 53(5-6): 76–84 (Bg)
11. Tulu A., Diribsa M., Gadisa B., Temesgen W. Stover yield, morphological fractions and nutrient composition of five stay-green sorghum (*Sorghum biochar* L.) varieties at the physiological maturity stage. *Heliyon.* 2025, 6; 11(1): e41753. DOI: 10.1016/j.heliyon.2025.e41753.

Поступила: 11.02.26; доработана после рецензирования: 18.05.26; принята к публикации: 18.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Шишова Е.А., Ковтунов В.В., Ковтунова Н.А. – концептуализация исследований, подготовка рукописи, Романюкин А.Е., Кравченко Н.С. – проведение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ НОРМ ВЫСЕВА И СПОСОБОВ ПОСЕВА НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНА И ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Ф. А. Давлетов^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства зернобобовых и крупяных культур, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, кормовых культур и экологии почв, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;

К. П. Гайнуллина^{1,3}, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории геномики растений, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зерновых, зернобобовых, кормовых культур и экологии почв, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;

И. Г. Мустафин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, oph_ufimskoe@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-5532-450X.

¹Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук,

450535, Республика Башкортостан, Уфимский район, с. Чернолесовский, ул. Тополиная, 1;

²Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук,

450059, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Рихарда Зорге, 19;

³Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, 71/1Е.

Исследование проводили в 2023–2025 гг. с целью изучения влияния различных норм высева (0,5–1,4 млн. шт. всхожих семян на 1 га) и способов посева (рядовой, узкорядный, ленточный, широкорядный) на урожайность зерна и зеленой массы гороха в условиях Предуральской лесостепной зоны Республики Башкортостан. Почвы опытного участка представлены карбонатными черноземами с содержанием гумуса в пахотном слое – 8,1%, подвижных соединений фосфора и калия – 23,4 и 42,0 мг на 100 г почвы соответственно. Объект исследования – новый сорт гороха Памяти Попова. За годы исследования при посеве ленточным (до 75,0±0,8 сут.) и широкорядным (до 76,0±0,8 сут.) способом у гороха наблюдалось увеличение продолжительности вегетационного периода, однако в большей степени данный признак зависел от метеорологических факторов. Наибольший прирост вегетативной массы наблюдался при ленточном и широкорядном способах посева в период цветения – созревание: вес 1 растения достигал 27,4±1,5 и 29,9±1,5 г соответственно. Лучшими показателями урожайности зеленой массы характеризовались рядовые (до 19,6±4,7 т/га) и узкорядные (до 19,7±4,8 т/га) посевы при норме высева 1,4 млн. всхожих семян на 1 га. Оптимальное сочетание густоты стояния и озерненности растений наблюдалось на рядовых и узкорядных посевах с нормой высева 1,2 млн. всхожих семян на 1 га. Урожайность зерна гороха была выше на рядовых (1,54–1,55 т/га) и узкорядных посевах (1,54–1,56 т/га) с нормой высева 1,2 и 1,4 млн. всхожих семян на 1 га, а также на ленточных (1,27–1,31 т/га) и широкорядных (1,26 т/га) посевах с нормой высева 0,7 и 0,8 млн. всхожих семян на 1 га.

Ключевые слова: горох, норма высева, способ посева, вегетационный период, зеленая масса, урожайность.

Для цитирования: Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Мустафин И.Г. Влияние норм высева и способов посева на урожайность зерна и зеленой массы гороха в условиях Республики Башкортостан // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №3. С. 102–110. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-102-110.



THE EFFECT OF SEEDING RATES AND SOWING METHODS ON PRODUCTIVITY OF SEEDS AND GREEN MASS OF PEAS IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

F.A. Davletov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for breeding and primary seed production of legumes and groats, senior researcher of the laboratory for plant genomics, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of grain, leguminous, feed crops and soil ecology, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;

K. P. Gainullina^{1,3}, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for plant genomics,

senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of grain, leguminous, feed crops and soil ecology, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;

I.G. Mustafin¹, Candidate of Agricultural Sciences, director, oph_ufimskoe@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-5532-450X.

¹*Experimental Station "Ufimskaya", a separate structural subdivision of the FSBSI of the Ufa Federal Research Center of the RAS,*

450535, Republic of Bashkortostan, Ufa region, v. of Chernolesovsky, Topolinaya Str., 1;

²*Bashkiria RIA, a separate structural subdivision of the FSBSI of the Ufa Federal Research Center of the RAS, 450059, Republic of Bashkortostan, Ufa, Rikhard Zorge Str., 191;*

³*Institute of Biochemistry and Genetics, a separate structural subdivision of the FSBSI of the Ufa Federal Research Center of the RAS,*

450054, Republic of Bashkortostan, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, lit. 1E.

The current work was conducted to study the effect of different seeding rates (0.5–1.4 million viable seeds per 1 ha) and sowing methods (row, narrow-row, band, wide-row) on productivity of grain and green mass of peas in the Pre-Ural forest-steppe part of the Republic of Bashkortostan in 2023–2025. The soil of experimental plots consisted of calcareous chernozems with 8.1% of humus in the arable layer and 23.4 and 42.0 mg of mobile phosphorus and potassium compounds per 100 g of soil, respectively. The study subject was a new pea variety "Pamyati Popova". Over the years of study, the peas had a longer vegetation period with both band sowing (up to 75.0 ± 0.8 days) and wide-row sowing (up to 76.0 ± 0.8 days), although this trait was largely dependent on weather factors. The greatest vegetative mass increase was established with a band and a wide-row sowing methods during the period of 'flowering-ripening', when one plant weight reached 27.4 ± 1.5 and 29.9 ± 1.5 g, respectively. The best indicators of green mass productivity were recorded at row (up to 19.6 ± 4.7 t/ha) and narrow-row (up to 19.7 ± 4.8 t/ha) sowing at a seeding rate of 1.4 million viable seeds per 1 ha. The optimal combination of plant density and seed size was established in row and narrow-row sowings with a seeding rate of 1.2 million viable seeds per 1 ha. The pea productivity was higher at row (1.54–1.55 t/ha) and narrow-row sowing (1.54–1.56 t/ha) with a seeding rate of 1.2 and 1.4 million viable seeds per 1 ha, as well as at band (1.27–1.31 t/ha) and wide-row (1.26 t/ha) sowings with a seeding rate of 0.7 and 0.8 million viable seeds per 1 ha.

Keywords: peas, seeding rate, sowing method, vegetation period, green mass, productivity.

Введение. Перспективы развития сельского хозяйства Республики Башкортостан предусматривают расширение посевных площадей зернобобовых культур до 150 тыс. га к 2027 г. При урожайности 1,8–1,9 т/га планируется получать 270–285 тыс. тонн зерна в год, улучшить кормовую базу и повысить плодородие полей.

Среди зернобобовых культур наиболее распространенной и урожайной в России в Республике Башкортостан является горох (Давлетов и Гайнуллина, 2023). По сбору белка с гектара горох превосходит зерновые культуры в 2–3 раза, поэтому его возделывание играет важную роль в решении проблемы дефицита растительного протеина (Шурхаева и др., 2023). В зерне гороха содержится в среднем 22% белка. В расчете на 1 кормовую единицу горох содержит 170 г переваримого протеина, тогда как кукуруза – 59 г, ячмень – 70 г, овес – 83 г, пшеница – 100 г. при оптимальной зоотехнической норме 120 г (Юшкевич и др., 2024).

Гороховый протеин отличается хорошей усвояемостью и высокой биологической ценностью (Лысенко, 2022). Он содержит все незаменимые аминокислоты, необходимые для нормальной жизнедеятельности животного организма (Рождественская и др., 2024). В семенах гороха также накапливается большое количество витаминов и других биологически активных веществ (Королев и др., 2020).

В технологии возделывания этой культуры ряд вопросов все еще остается нерешенным. К примеру, это касается разработки научно-обоснованного подхода к таким важным агротехническим мероприятиям, направленным на повышение урожайности зерна, зеленой массы и улучшение качества зерна гороха, как способы посева и нормы высева. Несмотря на то, что в Республике Башкортостан горох возделывается с давних времен, комплексное влияние норм высева и способов

посева на урожайность его зерна и зеленой массы в регионе остается малоизученным. Исходя из этого, а также в связи с внедрением в сельскохозяйственное производство нового высокоурожайного технологичного сорта Памяти Попова требуется пересмотр применяемых в настоящее время норм высева и способов посева гороха.

Цель исследования – изучить влияние различных норм высева и способов посева на урожайность зерна и зеленой массы гороха на примере нового сорта Памяти Попова в условиях Республики Башкортостан. Задачи исследования: 1 – оценить динамику появления всходов и накопления биомассы в зависимости от способов посева и норм высева гороха; 2 – изучить влияние различных норм высева и способов посева на продуктивность растений гороха и элементы структуры урожая; 3 – определить влияние норм высева и способов посева на величину урожая зерна и зеленой массы гороха.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились в Башкирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства УФИЦ РАН в 2023–2025 гг., полевые опыты закладывались на участках семеноводческого севооборота Чишминского селекционного центра по растениеводству на карбонатных черноземных почвах. В верхнем слое почвы содержится 8,1% гумуса. На 100 г почвы приходится: подвижных соединений фосфора – 23,4 мг, калия – 42 мг.

Содержание гумуса в почве определяли по Тюрину (ГОСТ 26213-91), фосфора и калия – по Мачигину (ГОСТ 26205-91). Почва нейтральная (pH=6,9–7,0), по механическому составу – среднесуглинистая иловато-песчаная.

Погодные условия в годы проведения исследований

были контрастными. В 2023 г. по сравнению со среднегодовой нормой атмосферных осадков выпало меньше в период всходы – цветение на 80%, в период цветение – созревание – на 14%. В 2024 г. возврат холодов после посева обусловил задержку прорастания семян и появления всходов до 18 сут. В дальнейшем, вплоть до конца цветения, рост и развитие растений гороха проходили в условиях дефицита влаги и повышенных температур. В период налива и созревания семян наблюдались значительных колебаний температур и ливневые дожди. В 2025 г. межфазный период всходы – цветение проходил в условиях повышенного увлажнения (количество выпавших осадков превысило среднегодовую норму на 58,8%), период цветение – созревание – в условиях недостатка влаги (недобор осадков составил 30,0% относительно среднегодовой нормы). В целом погодные условия в 2023 и 2024 гг. были засушливыми (ГТК=0,53 и 0,70 соответственно), в 2025 г. – относительно благоприятными (ГТК=1,30) для роста и развития растений гороха.

Семена нового высокопродуктивного сорта гороха Памяти Попова высевали рядовым (междурядье – 14,4 см, норма высева – 1,4; 1,2; 1,0 млн. шт. всхожих семян на 1 га) узкорядным (междурядье – 7,2 см, норма высева – 1,4; 1,2; 1,0 млн. шт. всхожих семян на 1 га), ленточным (расстояние между лентами – 45 см, в ленте – 10 см, норма высева – 0,8; 0,7; 0,6 млн. шт. всхожих семян на 1 га), широкорядным (междурядье – 45 см, норма высева – 0,7; 0,6; 0,5 млн. шт. всхожих семян на 1 га) способами. Посев гороха осуществляли сеялкой СН-16 в ранние сроки по зяблевой вспашке. Предпосевная обработка почвы включала закрытие влаги, предпосевную культивацию на глубину 8–10 см. После посева опытный участок прикатывали кольчатыми катками. Учетная площадь деланки –

25 м², повторность – четырехкратная. В период вегетации гороха на рядовом и узкорядном посевах прополку сорняков проводили 1 раз, причем выпалывали только высокорослые сорняки. Ленточные и широкорядные посева пололи несколько раз.

Полноту всходов, выживаемость растений, структуру урожая зерна гороха определяли по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019), площадь листовой поверхности – по методике А. А. Ничипоровича и др. (1961), динамику прироста зеленой массы – весовым методом на площадках 0,5 м² в четырех точках путем среза растений на уровне поверхности почвы. Уборку деланок проводили селекционным комбайном «Хеге-125» в фазу полной спелости. Учет урожая зерна вели весовым способом после его приведения к стандартной влажности (14%) и 100% чистоте. Полученные в опытах данные обрабатывали методом дисперсионного анализа (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. Продолжительность вегетационного периода является одним из основных критериев при оценке сортов гороха (Пислегина и Четверных, 2020). В результате проведенного исследования было установлено, что во всех опытных вариантах продолжительность межфазных периодов посев – всходы (11–12 сут.) и всходы – цветение (36–37 сут.) у изученного нами сорта гороха была одинаковой. Продолжительность межфазного периода цветение – созревание изменялась в зависимости от густоты стеблестоя: чем реже был посев, тем длиннее данный период. При высеве ленточным и широкорядным способом период цветение – созревание удлинялся на 1–2 сут. по сравнению с рядовым и узкорядным посевами. Полный вегетационный период оказался самым продолжительным при широкорядном способе посева (табл. 1).

Таблица 1. Продолжительность вегетационного периода гороха сорта Памяти Попова при различных нормах высева и способах посева в 2023–2025 гг.
Table 1. A vegetation period length of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods in 2023–2025

Способ посева	Норма высева, млн. шт. всхожих семян на 1 га	Продолжительность вегетационного периода, сут.			
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	в среднем за 2023–2025 гг.
Рядовой	1,0	70,2±0,5	68,0±0,8	73,7±0,5	70,6±2,9
	1,2	69,5±1,0	66,7±0,5	72,5±0,6	69,6±2,9
	1,4	69,2±0,5	66,5±0,6	72,7±0,5	69,5±3,1
Узкорядный	1,0	70,0±0,8	68,2±0,5	73,5±0,6	70,6±2,7
	1,2	69,5±0,6	66,7±0,5	73,0±0,8	69,7±3,1
	1,4	69,2±0,5	67,0±0,8	72,0±0,8	69,4±2,5
Ленточный	0,6	71,0±0,8	69,5±1,0	74,5±1,3	71,7±2,6
	0,7	70,7±0,9	69,5±0,6	75,0±0,8	71,7±2,9
	0,8	70,5±0,6	68,5±0,6	73,7±0,9	70,9±2,6
Широкорядный	0,5	71,7±0,9	70,0±0,8	76,0±0,8	72,6±3,1
	0,6	71,0±0,8	69,2±0,5	75,2±0,5	71,8±3,1
	0,7	71,0±0,8	69,7±0,5	74,5±0,6	71,7±2,5

В засушливых условиях 2023–2024 гг. вегетационный период был на 5–7 сут. короче по сравнению с 2025 г. во всех вариантах опыта (табл. 1). Таким образом, в нашем исследовании продолжительность вегетационного периода у гороха в большей степени

зависела от погодных условий и меньшей – от агротехнических приемов возделывания.

Полнота всходов в наших опытах была высокой (93,6±0,5 – 98,0±1,5%) независимо от нормы высева и способа посева (табл. 2).

Таблица 2. Полнота всходов гороха сорта Памяти Попова при различных нормах посева и способах посева в 2023–2025 гг.

Table 2. Seedling vigor of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods in 2023–2025

Способ посева	Норма посева, млн. шт. всхожих семян на 1 га	Полнота всходов, %			
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	в среднем за 2023–2025 гг.
Рядовой	1,0	96,3±1,2	94,7±0,5	95,7±0,8	95,6±0,8
	1,2	95,7±0,7	96,0±0,9	96,6±0,9	96,1±0,5
	1,4	96,0±1,0	94,3±0,6	95,8±0,3	95,4±0,9
Узкорядный	1,0	97,2±0,5	94,0±0,3	96,8±0,7	96,0±1,7
	1,2	95,8±0,7	94,1±0,7	97,1±0,5	95,7±1,5
	1,4	95,3±0,8	93,6±0,5	96,1±0,4	95,0±1,5
Ленточный	0,6	97,8±0,9	96,4±0,4	97,6±1,1	97,3±0,8
	0,7	98,0±1,5	96,6±1,0	97,5±0,9	97,4±0,7
	0,8	97,2±0,7	96,9±0,8	96,6±0,6	96,9±0,3
Широкорядный	0,5	97,7±1,2	96,7±0,8	97,5±0,8	97,3±0,5
	0,6	96,8±0,7	97,0±1,0	97,2±0,4	97,0±0,2
	0,7	97,9±0,9	96,8±0,5	96,9±1,1	97,2±0,6

На рост растений гороха в межфазный период всходы – цветение способ посева и норма посева влияние не оказывали. Максимальный прирост вегетативной массы отмечался в межфазный период

цветение – созревание при ленточном и ширококрядном способах посева. Вес 1 растения в этих вариантах опыта был достоверно больше ($p < 0,05$), чем в вариантах с рядовым и узкорядным способами посева (рис. 1).

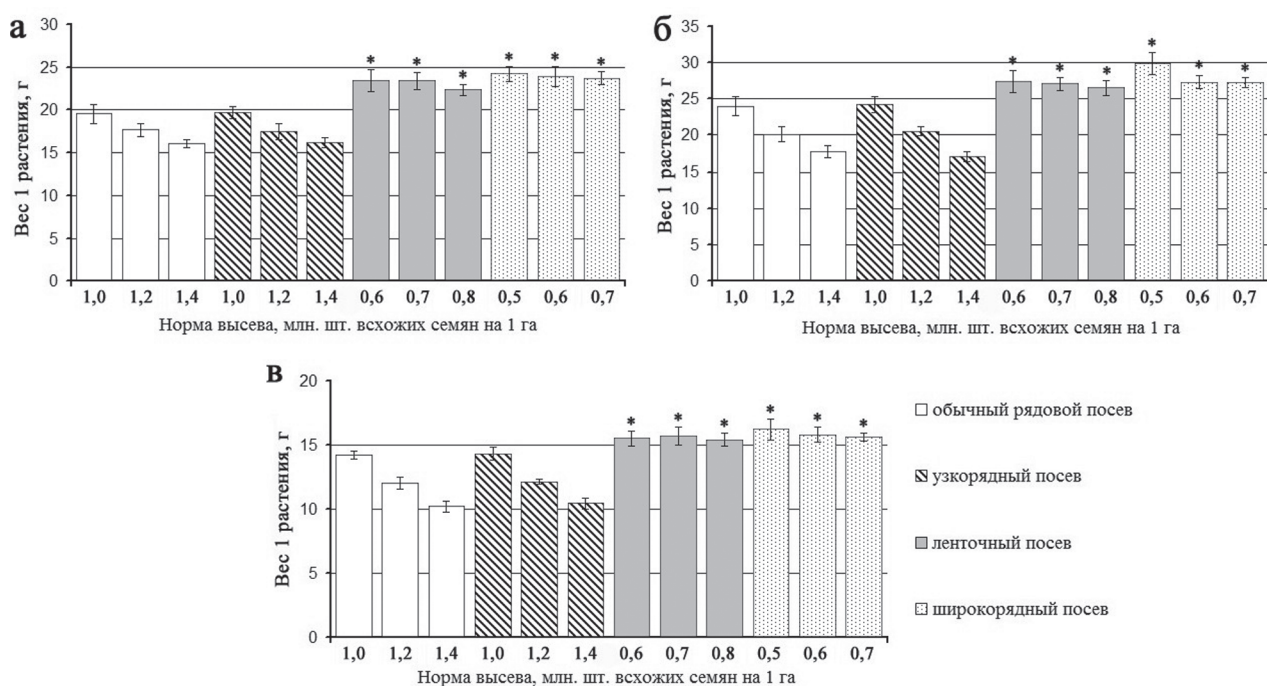


Рис. 1. Вес растений гороха сорта Памяти Попова при различных нормах посева и способах посева в среднем за 2023–2025 гг.:

а – в фазу массового цветения, б – в конце цветения, в – в фазу созревания нижних бобов*

Fig. 1. Average plant weight of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods in 2023–2025:

a – during the period of full flowering, b – at the end of flowering, c – during the ripening phase of the lower pods*

Примечание. * – различия достоверны на 5% уровне значимости

Выживаемость растений гороха (число сохранившихся перед уборкой растений) в нашем исследовании была высокой – $94,0 \pm 0,6$ – $97,8 \pm 0,8\%$ (табл. 3).

Таблица 3. Выживаемость растений гороха сорта Памяти Попова при различных нормах высева и способах посева в 2023–2025 гг.

Table 3. Survival rate of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods in 2023–2025

Способ посева	Норма высева, млн. шт. всхожих семян на 1 га	Выживаемость растений, %			
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	в среднем за 2023–2025 гг.
Рядовой	1,0	$96,2 \pm 0,9$	$94,4 \pm 0,6$	$96,0 \pm 0,8$	$95,5 \pm 1,0$
	1,2	$96,0 \pm 0,7$	$94,1 \pm 0,8$	$95,5 \pm 0,6$	$95,2 \pm 1,0$
	1,4	$94,8 \pm 0,5$	$95,0 \pm 0,5$	$94,0 \pm 0,6$	$94,6 \pm 0,5$
Узкорядный	1,0	$96,2 \pm 0,6$	$95,0 \pm 0,7$	$96,0 \pm 0,7$	$95,7 \pm 0,6$
	1,2	$96,1 \pm 0,7$	$94,6 \pm 0,5$	$95,3 \pm 0,5$	$95,3 \pm 0,6$
	1,4	$95,1 \pm 0,5$	$94,3 \pm 0,6$	$94,2 \pm 0,4$	$94,5 \pm 0,5$
Ленточный	0,6	$96,5 \pm 0,6$	$96,9 \pm 1,0$	$96,9 \pm 0,9$	$96,8 \pm 0,2$
	0,7	$96,9 \pm 0,9$	$95,4 \pm 0,7$	$96,7 \pm 0,5$	$96,3 \pm 0,8$
	0,8	$95,2 \pm 0,4$	$96,1 \pm 0,6$	$97,2 \pm 1,0$	$96,2 \pm 1,0$
Широкорядный	0,5	$97,3 \pm 1,0$	$95,7 \pm 0,5$	$97,8 \pm 0,8$	$96,9 \pm 1,1$
	0,6	$96,4 \pm 0,6$	$96,0 \pm 0,4$	$97,7 \pm 1,1$	$96,7 \pm 0,9$
	0,7	$96,1 \pm 0,5$	$96,8 \pm 0,6$	$96,7 \pm 0,6$	$96,5 \pm 0,4$

С увеличением нормы высева семян выживаемость растений несколько снижалась. Так, в среднем за 2023–2025 гг. при норме высева 0,5–0,8 млн. шт. всхожих семян на 1 га она была достоверно выше ($p < 0,05$), чем при норме высева 1,4 млн. шт. всхожих семян на 1 га (табл. 3).

Основным параметром, характеризующим состояние посевов с точки зрения их фотосинтетической активности, является развитие листовой поверхности (Павловская и др., 2017). В наших опытах максимальной

площадью поверхности листьев на 1 га – $22,5 \pm 1,3$ – $22,7 \pm 1,4$ тыс. м^2 – характеризовались рядовые и узкорядные посевы гороха в период массового цветения при норме высева 1,4 млн. всхожих семян на 1 га, в то время как при норме высева 1,0–1,2 млн. всхожих семян на 1 га данный показатель для этих посевов составлял $16,2 \pm 0,8$ – $19,4 \pm 1,5$ м^2 , а для ленточных и ширококорядных посевов с нормой высева 0,6–0,8 и 0,5–0,7 млн. всхожих семян на 1 га – $11,5 \pm 1,1$ – $12,8 \pm 0,9$ и $9,8 \pm 0,6$ – $11,7 \pm 0,7$ тыс. м^2 соответственно (рис. 2).

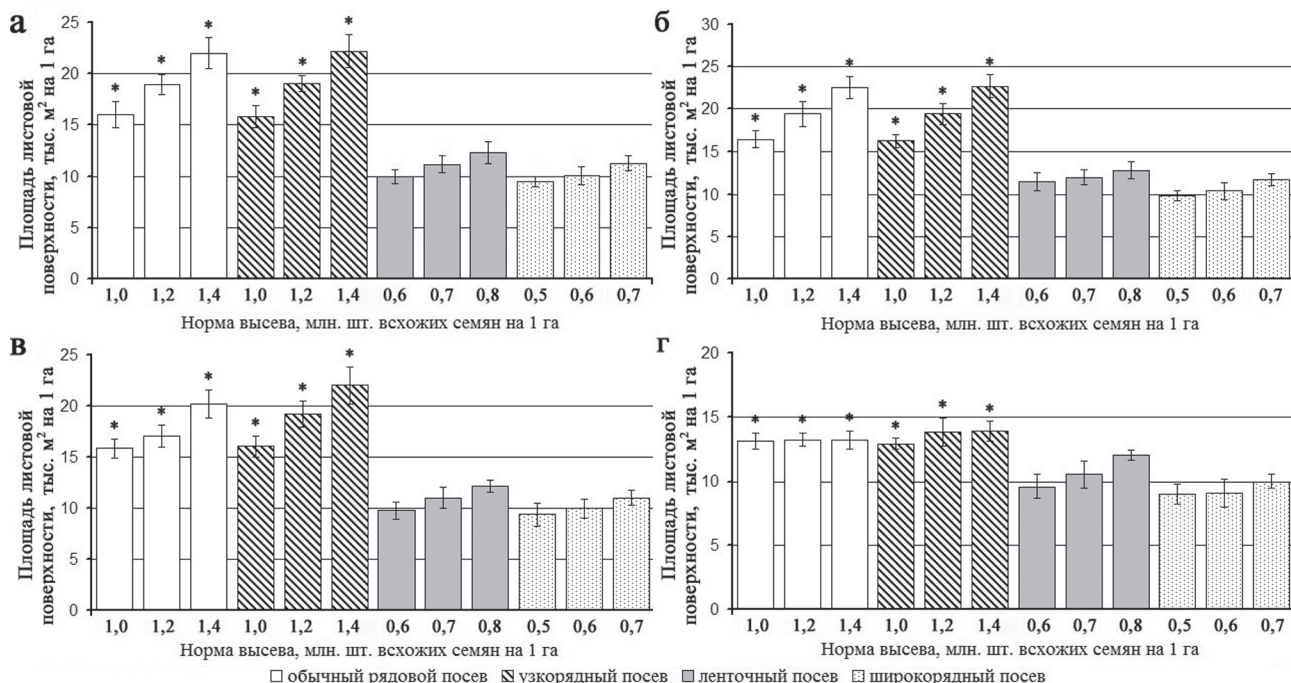


Рис. 2. Площадь листовой поверхности растений гороха сорта Памяти Попова при различных нормах высева и способах посева в среднем за 2023–2025 гг.: а – в начале цветения, б – в фазу массового цветения, в – в конце цветения, г – в фазу созревания нижних бобов*

Fig. 2. Average leaf area of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods in 2023–2025: а – at the beginning of flowering, б – during the period of full flowering, в – at the end of flowering, г – during the ripening phase of the lower pods*

Примечание. * – различия достоверны на 5% уровне значимости

В соответствии с полученными нами данными, максимальные показатели урожайности зеленой массы

гороха отмечались в конце цветения (рис. 3).

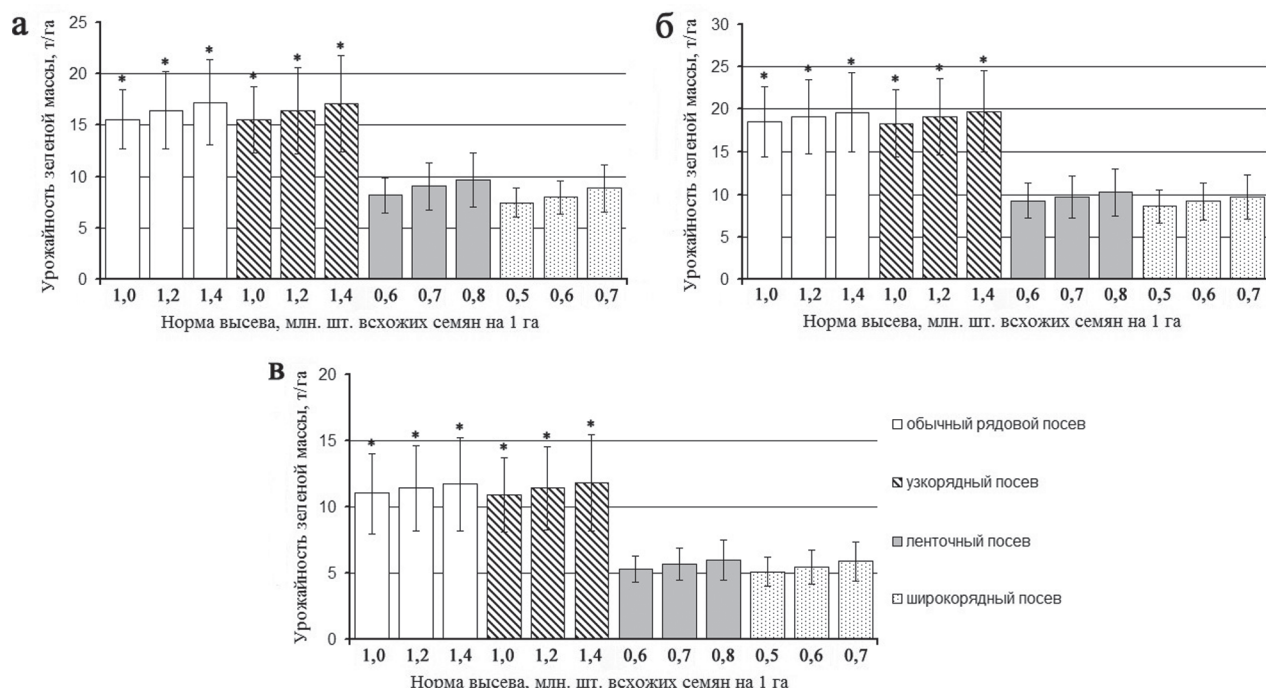


Рис. 3. Урожайность зеленой массы гороха сорта Памяти Попова при различных нормах высева и способах посева в среднем за 2023–2025 гг.: а – в начале цветения, б – в конце цветения, в – в фазу созревания нижних бобов*

Fig. 3. Average green mass productivity of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods in 2023–2025: а – at the beginning of flowering, б – at the end of flowering, в – during the ripening phase of the lower pods*

Примечание. * – различия достоверны на 5% уровне значимости

Изучение взаимного влияния растений гороха друг на друга в посевах с различными нормами и способами высева семян показало, что увеличение норм высева приводило к угнетению роста и развития растений по мере прохождения фаз вегетации, вследствие чего в посевах с нормой высева 1,0–1,4 млн. всхожих семян на 1 га вес одного растения был ниже, чем в посевах с нормой высева 0,5–0,8 млн. всхожих семян на 1 га (рис. 1). Тем не менее, снижение продуктивности зеленой массы растений гороха при повышенных нормах высева семян компенсировалось увеличением числа растений на единицу площади, в результате чего ее урожайность повышалась. Таким образом, наибольший урожай зеленой массы гороха был получен

на рядовых и узкорядных посевах при норме высева 1,4 млн. всхожих семян на 1 га (рис. 3). Во все изученные нами фазы развития растений гороха урожайность зеленой массы на этих посевах была достоверно выше ($p < 0,05$), чем на ленточных и широкорядных посевах при всех изученных нами нормах высева.

В результате изучения элементов структуры урожая гороха при разных способах посева и нормах высева нами было установлено, что число бобов, семян и масса семян с растения на рядовых и узкорядных посевах были меньше, чем на ленточных и широкорядных, а на 1 м² за счет увеличенной нормы высева – больше (табл. 4).

Таблица 4. Показатели элементов структуры урожая гороха сорта Памяти Попова при различных нормах высева и способах посева в среднем за 2023–2025 гг.

Table 4. Indicators of the yield structure elements of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods, average in 2023–2025

Способ посева	Норма высева, млн. шт. всхожих семян на 1 га	Число бобов на растении, шт.	Число семян с растения, шт.	Масса семян с растения, г
Рядовой	1,0	2,3±0,3	11,3±1,5	1,77±0,28
	1,2	2,3±0,3	10,6±1,5	1,66±0,24
	1,4	2,2±0,2	9,8±1,3	1,48±0,27
Узкорядный	1,0	2,3±0,3	11,3±1,4	1,77±0,27
	1,2	2,3±0,3	10,6±1,4	1,66±0,25
	1,4	2,2±0,4	9,7±0,9	1,47±0,26

Продолжение табл. 4

Ленточный	0,6	2,5±0,3	14,7±2,9	2,55±0,46
	0,7	2,4±0,3	14,3±3,5	2,48±0,40
	0,8	2,4±0,3	13,5±2,8	2,23±0,32
Ширококорядный	0,5	2,6±0,4	15,1±3,4	2,68±0,51
	0,6	2,5±0,2	15,1±3,2	2,55±0,44
	0,7	2,5±0,3	14,3±3,5	2,47±0,41

Лучшим сочетанием густоты стояния растений и их озерненности выделились рядовые и узкорядные посевы с нормой высева 1,2 млн. всхожих семян на 1 га.

Урожайность зерна гороха определяется числом плодоносящих стеблей на единицу площади и их продуктивностью (Кожухова и др., 2022). В наших опытах изменение норм высева оказывало влияние

на величину урожая семян при всех способах посева. Сравнительно высокой урожайностью зерна отличались рядовые и узкорядные посевы с нормой высева 1,2 и 1,4 млн. всхожих семян на 1 га, а также ленточные и ширококорядные посевы с нормой высева 0,7 и 0,8 млн. всхожих семян на 1 га (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность зерна гороха сорта Памяти Попова при различных нормах высева и способах посева в 2023–2025 гг.

Table 5. Seed productivity of the pea variety Pamyati Popova at different seeding rates and sowing methods in 2023–2025

Способ посева	Норма высева, млн. шт. всхожих семян на 1 га	Урожайность зерна, т/га			
		2023 г.	2024 г.	2025 г.	в среднем за 2023–2025 гг.
Рядовой	1,0	1,08	1,20	1,98	1,42
	1,2	1,16	1,34	2,13	1,54
	1,4	1,16	1,35	2,15	1,55
	НСР ₀₅ *	0,07	0,11	0,12	0,10
	НСР ₀₅ **	0,06	0,12	0,10	0,09
Узкорядный	1,0	1,06	1,22	2,00	1,43
	1,2	1,13	1,35	2,15	1,54
	1,4	1,14	1,36	2,19	1,56
	НСР ₀₅ *	0,07	0,12	0,13	0,11
	НСР ₀₅ **	0,08	0,10	0,11	0,10
Ленточный	0,6	0,82	1,00	1,62	1,15
	0,7	0,92	1,11	1,78	1,27
	0,8	0,95	1,15	1,82	1,31
	НСР ₀₅ *	0,08	0,11	0,14	0,13
	НСР ₀₅ **	0,07	0,12	0,13	0,11
Ширококорядный	0,5	0,71	1,01	1,58	1,10
	0,6	0,82	1,02	1,67	1,17
	0,7	0,90	1,11	1,76	1,26
	НСР ₀₅ *	0,10	0,09	0,11	0,12
	НСР ₀₅ **	0,11	0,08	0,09	0,09

Примечание. * – для способов посева; ** – для норм высева.

В соответствии с нашими данными при ленточном и ширококорядном способах посева увеличивается коэффициент размножения семян, однако из-за меньшей нормы высева снижается урожайность зерна. В связи с этим основным способом посева гороха в Башкортостане должен быть рядовой, а ленточный и ширококорядный целесообразно применять для ускоренного размножения новых сортов.

Выводы.

1. На полноту всходов гороха сорта Памяти Попова изученные нами нормы высева и способы посева существенного влияния не оказывали. Выживаемость

растений при пониженных нормах высева (0,5–0,8 млн. шт. всхожих семян на 1 га) в среднем за годы исследования была на 0,5–2,4% выше, чем при повышенных (1,0–1,4 млн. шт. всхожих семян на 1 га).

2. Наибольшая урожайность зеленой массы была получена при посеве гороха рядовым и узкорядным способом с нормой высева 1,4 млн. шт. всхожих семян на 1 га. Также эти посевы характеризовались наибольшей ассимиляционной поверхностью листьев. Данную норму высева следует считать оптимальной при возделывании гороха на кормовые цели.

3. При повышении норм высева наблюдалось

угнетение растений гороха друг другом, и средний вес семян с 1 растения на таких посевах был ниже, чем при пониженных нормах высева.

4. При возделывании гороха сорта Памяти Попова на зерно оптимальными способами посева являются рядовой и узкорядный с нормой высева 1,2 млн. шт. всхожих семян на 1 га.

5. Для ускоренного размножения перспективных

сортов допустимо применять ленточный и широкорядный способы посева с нормой высева 0,7–0,8 млн. шт. всхожих семян на 1 га.

Финансирование. Исследование Гайнуллиной К.П. выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № 125012900943-0, работы Давлетова Ф.А. поддержаны грантом Минобрнауки РФ № 075-15-2025-180 от 17 апреля 2025 г.

Библиографический список

1. Давлетов Ф. А., Гайнуллина К. П. Влияние норм высева семян на урожайность зерна гороха в условиях Предуральской степи Республики Башкортостан // Аграрная наука. 2023. № 3. С. 72–77. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-72-77
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп., стереотип. М.: Альянс, 2014. 352 с.
3. Кожухова Е. В., Бобровский А. В., Крючков А. А., Сныткова Т. А., Новиков В. В. Корреляция структуры урожая гороха с плодородием почвы при биологическом земледелии // Земледелие. 2022. № 5. С. 39–42. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-5-39-42
4. Королев А. А., Урубков С. А., Коптяева И. С., Корнева Л. Я. Зернобобовых растений. Общая характеристика и применение в технологии пищевого концентрата // Ползуновский вестник. 2020. № 2. С. 35–39. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.007
5. Лысенко А. А. Урожайность и качество возделываемых в Приазовской зоне Ростовской области сортов зернового гороха в зависимости от гидротермических факторов // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 2. С. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-70-76
6. Ничипорович А. А., Строганова А. Е., Чмора С. Н., Власова М. Н. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 135 с.
7. Павловская Н. Е., Бородин Д. Б., Хорошилов А. А., Яковлева И. В. Изучение действия нанокремния на фотосинтетическую продуктивность яровой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 7(153). С. 12–18.
8. Пислегина С. С., Четвертных С. С. Влияние погодных условий на продолжительность вегетационного периода и продуктивность гороха // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 5. С. 521–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530
9. Рождественская Л. Н., Бикбулатов П. С., Чугунова О. В., Заворохина Н. В. Потенциальные возможности промышленного получения изолята горохового белка // Вестник КрасГАУ. 2024. № 8(209). С. 130–139. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-130-139
10. 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
11. Юшкевич Л. В., Ющенко Д. Н., Щитов А. Г., Пахотина И. В., Бутко А. С. Продуктивность пшеницы мягкой яровой после горохового предшественника в лесостепи Западной Сибири // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 4(52). С. 139–147. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-139-147.

References

1. Davletov F. A., Gajnullina K. P. Vliyanie norm vyseva semyan na urozhajnost' zerna goroha v usloviyah Predural'skoj stepi Respubliki Bashkortostan [The effect of seeding rates on pea productivity in the Cis-Ural steppe of the Republic of Bashkortostan] // Agrarnaya nauka. 2023. № 3. S. 72–77. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-72-77
2. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with basics of statistical analysis of the study results)]. 6-e izd., pererab. i dop., stereotip. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
3. Kozhuhova E. V., Bobrovskij A. V., Kryuchkov A. A., Snytkova T. A., Novikov V. V. Korrelyaciya struktury urozhaya goroha s plodorodiem pochvy pri biologicheskom zemledelii [Correlation of pea yield structure with soil fertility in organic farming] // Zemledelie. 2022. № 5. S. 39–42. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-5-39-42
4. Korolev A. A., Urubkov S. A., Koptyaeva I. S., Korneva L. YA. Zernobobovykh rastenij. Obshchaya harakteristika i primenenie v tekhnologii pishchekoncentratov [Leguminous grain: general characteristics and application in food concentrate technology] // Polzunovskij vestnik. 2020. № 2. S. 35–39. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.02.007
5. Lysenko A. A. Urozhajnost' i kachestvo vozdeliyaemykh v Priazovskoj zone Rostovskoj oblasti sortov zernovogo goroha v zavisimosti ot gidrotermicheskikh faktorov [Productivity and quality of pea varieties cultivated in the Azov zone of the Rostov region depending on hydrothermal factors] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2022. T. 14, № 2. S. 70–76. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-80-2-70-76
6. Nichiporovich A. A., Stroganova A. E., CHmora S. N., Vlasova M. N. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' rastenij v posevah [Photosynthetic activity of plants in crops]. M.: Izd-vo AN SSSR, 1961. 135 s.
7. Pavlovskaya N. E., Borodin D. B., Horoshilov A. A., YAKovleva I. V. Izuchenie dejstviya nanokremniya na fotosinteticheskuyu produktivnost' yarovoj pshenicy [The study of the effect of nanosilicon on the photosynthetic productivity of spring wheat] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 7(153). S. 12–18.
8. Pislegina S. S., CHetvertnyh S. S. Vliyanie pogodnykh uslovij na prodolzhitel'nost' vegetacionnogo perioda i produk-

tivnost' goroha [The effect of weather conditions on the vegetation period length and pea productivity] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2020. T. 21, № 5. S. 521–530. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.5.521-530

9. Rozhdestvenskaya L. N., Bikbulatov P. S., CHugunova O. V., Zavorohina N. V. Potencial'nye vozmozhnosti promyshlennogo polucheniya izolyata gorohovogo belka [Potential for industrial production of pea protein isolate] // *Vestnik KrasGAU*. 2024. № 8(209). S. 130–139. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-130-139

10. SHurhaeva K. D., Fadeeva A. N., Abrosimova T. N., Kirillova E. S., Sajfutdinova D. D. Novyj sort goroha Narat s cennymi svojstvami po kachestvu belka [A new pea variety Narat with valuable protein quality properties] // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2023. № 4(48). S. 156–161. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-156-161

11. YUshkevich L. V., YUshchenko D. N., SHCHitov A. G., Pahotina I. V., Butko A. S. Produktivnost' pshenicy myagkoj yarovoj posle gorohovogo predshestvennika v lesostepi Zapadnoj Sibiri [Productivity of spring common wheat sown after peas in the forest-steppe of Western Siberia] // *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2024. № 4(52). S. 139–147. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-4-139-147.

Поступила: 27.01.26; доработана после рецензирования: 23.04.26; принята к публикации: 05.05.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. И. Г. Мустафин – концептуализация исследования, Ф. А. Давлетов, К. П. Гайнуллина – выполнение опытов и сбор данных, Ф. А. Давлетов – анализ данных и их интерпретация, К. П. Гайнуллина – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК: 595.79:591.54:59.08.184.1

DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-111-116

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
НА РАЗВИТИЕ И ПЛОДОВИТОСТЬ *HABROBRACON HEBETOR*

О.Н. Теличко, ведущий научный сотрудник отдела биологического метода защиты растений, olgatelichcko@yandex.ru, 8(924) 26-28-990, 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;

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки; Дальневосточный научно-исследовательский институт защиты растений – филиал Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (ДВНИИЗР – филиал ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки»);
692684, Приморский край, Ханкайский район, с. Камень-Рыболов, ул. Мира, д. 42а; e-mail: dalniizr@mail.ru

В настоящее время перспективным направлением в защите сельскохозяйственных культур является биологический метод, который базируется на применении экологически безопасных средств. Особое место в этом отношении занимают энтомофаги. В статье приведены данные по разведению и размножению в лабораторных условиях эктопаразита *Habrobracon hebetor* (Say, 1836), которого применяют для борьбы с чешуекрылыми вредителями на различных сельскохозяйственных культурах. Цель работы – исследовать в лабораторных условиях влияние абиотических факторов среды на плодовитость и развитие *H. hebetor*. Опыт заложен согласно методическим рекомендациям по технологии разведения и применения эктопаразита габробракона. Проведённые исследования позволили выявить оптимальные лабораторные условия для содержания энтомофага. Выявлено, что максимальная продолжительность жизни (16,8 сут.) самки наблюдается при температуре воздуха 26–28 °С (фотопериод 16 ч.). Так же при повышении температуры снижается преимагинальный период дочерних особей габробракона до 11,4–13,6 сут. Установлено, что оптимальными условиями для откладки яиц являются t=23–25 °С и фотопериод 16 ч. Повышение температуры воздуха до 26–28 °С положительно влияет на количество выживших личинок (91,5 %). Лучшими условиями для формирования куколок является температура 23–25 °С с фотопериодом 16 ч.

Ключевые слова: *Habrobracon hebetor* Say, температура, плодовитость, потомство, выживаемость, гибель.

Для цитирования: Теличко О.Н., Сырмолот О.В. Влияние абиотических факторов среды на развитие и плодовитость *Habrobracon hebetor* // Зерновое хозяйство России. 2026. Т.18, №3. С. 111-116. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-111-116.

THE INFLUENCE OF ABIOTIC ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE
DEVELOPMENT AND FERTILITY OF *HABROBRACON HEBETOR*

O.N. Telichko, leading researcher of the department of biological method of plant protection, olgatelichcko@yandex.ru, 8(924) 26-28-990, ORCID ID: 0000-0001-7948-4949;

O.V. Symolot, researcher of the department of biological method of plant protection, oksanaszr@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-8318-1382;

FSBSI "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki; Far East Research Institute of Plant Protection – branch of the FSBSI "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki (FERIPP – branch of the FSBSI of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki);
692684, Primorsky Krai, Khankaisky district, v. of Kamen-Rybolov, Mir str., 42A; e-mail: dalniizr@mail.ru

Biological methods based on the use of environmentally friendly agents are currently considered to be a promising approach to crop protection. Entomophagous insects are on a special place in this regard. The current paper has presented the data on the laboratory breeding and propagation of the ectoparasite *Habrobracon hebetor* (Say, 1836), which is used to control lepidopteran pests on various agricultural crops. The purpose of the current work was to study the influence of abiotic environmental factors on the fertility and development of *H. hebetor* in laboratory conditions. The trial was conducted in accordance with the recommendations for the cultivation and use of the ectoparasite *Habrobracon*. The conducted research has allowed identifying optimal laboratory conditions for maintaining entomophagous insects. There has been found that the maximum lifespan of a female (16.8 days) is at an air temperature of 26–28 °C (a 16-hour photoperiod). Also,

when the temperature increases, the premature phases of *Habrobracon* larvae decrease to 11.4–13.6 days. There has been established that the optimal conditions for oviposition are the temperature of 23–25°C and a 16-hour photoperiod. The air temperature increase to 26–28°C positively affects the survival rate of larvae (91.5%). The best conditions for pupal formation are 23–25°C and a 16-hour photoperiod.

Keywords: *Habrobracon hebetor* Say, temperature, fertility, offspring, survival, death.

Введение. Сегодня современные методы борьбы с вредными организмами в посевах сельскохозяйственных культур основаны преимущественно на использовании химических пестицидов (Бойко и др., 2021), которые ухудшают экологию. Их применение способствует накоплению в почве и растениях токсичных веществ. Поэтому, возникла потребность в поиске альтернативных путей защиты растений, которые обеспечат эффективный контроль вредных организмов, сводя при этом к минимуму негативные последствия для здоровья человека и окружающей среды. Наиболее перспективным в этом отношении является биологический метод защиты растений. Наиболее активным внедрением экологически безопасных средств защиты выделяются южные регионы нашей страны (Сидоров и др., 2024).

Одним из биологических мер борьбы с вредителями является применение энтомофагов (Agasyeva, 2021; Abedi et al., 2021). Это альтернативный и экологически безопасный способ борьбы с фитофагами. Они являются важнейшими агентами биологического метода и интегрированной защиты растений. Для борьбы с гусеницами чешуекрылых вредителей (мельничная огнёвка, кукурузный мотылек, восковая моль и др.) применяют эктопаразита габробракона *Habrobracon hebetor* (Say, 1836) (Исмаилов и др., 2020; Чучунов и др., 2023). Габробракон – это паразитическая оса длиной около 2-3 мм, весом менее 1 мг.

Для массового разведения эктопаразита необходимо знать оптимальные условия для их содержания в лабораториях. Обширная работа по этому вопросу проведена в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений». Огромное влияние на развитие и репродуктивную способность *H. hebetor* оказывают температура и влажность воздуха, фотопериод (Богатырев и Агасьева, 2019; Ou et al., 2023; Huang et al., 2024; Mbata et al., 2021). Исследованиями выявлено, что оптимальными условиями для их развития являются температура +25–29 °C с относительной влажностью воздуха 75–90 %.

В связи с увеличением спроса к биоагентам возник интерес для проведения аналогичной работы в условиях

юга Дальнего Востока. Поэтому целью нашей работы являлось исследование в лабораторных условиях влияния абиотических факторов окружающей среды на плодовитость и развитие эктопаразита *H. hebetor* для выявления оптимальных условий разведения энтомофага.

Материалы и методы исследований. Лабораторный опыт по изучению внешних факторов на развитие *H. hebetor* был проведен в 2024–2025 гг. на базе отдела биометода Дальневосточного научно-исследовательского института защиты растений.

Условия проведения опыта: вариант 1 – температура – 20–22 °C, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч. (без дополнительного освещения); вариант 2 – температура – 23–25 °C, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч.; вариант 3 – температура – 26–28 °C, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч. Повторность – пятикратная для каждого варианта опыта.

Опыт заложен в соответствии с методическими рекомендациям ВНИИБЗР по технологии разведения и применения эктопаразита габробракона» (1995 г.).

В работе использовались имаго эктопаразита, вылетевшие в день закладки опыта. В качестве хозяина габробракона использовалась мельничная огнёвка *Ephestia kuehniella* (Zeller, 1879). Гусениц огнёвки (в количестве 10 особей), предназначенных для заражения, помещали в 0,5-и литровые банки. Сразу же, пока не сплетена паутина, к ним запускали *H. hebetor* (1 самку и 1 самца). Сверху ёмкости затягивали бязевой салфеткой с ватным тампоном, смоченным 20 %-ным сахарным сиропом для подкормки насекомых. Каждая банка маркировалась этикеткой с указанием даты заражения. Через каждые 3 дня маточных самок (до гибели) пересаживали на свежих гусениц огневки в соотношении 1:10. В случае гибели самца производили замену другим. Ежедневно проводили учёты и наблюдения за развитием *H. hebetor*.

Результаты и их обсуждение. В лабораторных условиях исследован жизненный цикл и плодовитость энтомофага *H. hebetor* (рис. 1) в зависимости от абиотических факторов среды.



Рис. 1. Имаго (самка) *H. Hebetor*

Fig. 1. Imago (female) *H. hebetor*

По нашим данным минимальная продолжительность жизни ($10,8 \pm 3,5$ сут.) самки габробракона зафиксирована при температуре воздуха $20-22^\circ\text{C}$ (рис. 2). Индивидуальная продолжительность жизни достигала 25–26 суток при температуре $26-28^\circ\text{C}$. При увеличении температуры воздуха до $26-28^\circ\text{C}$

увеличивается жизнеспособность самки до $16,8 \pm 0,2$ сут. Однако исследователями доказано, что температура существенно влияет на продолжительность жизни самок *H. hebetor*, которая уменьшается с повышением температуры (Huang et al., 2024).



Примечание. * Варианты:

1. Температура – $20-22^\circ\text{C}$, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч;
2. Температура – $23-25^\circ\text{C}$, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч;
3. Температура – $26-28^\circ\text{C}$, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч.

Рис. 2. Влияние внешних факторов на продолжительность жизни самки *H. hebetor* и её репродуктивную способность (2024–2025 гг.)

Fig. 2. The influence of external factors on the lifespan of a female *H. hebetor* and its reproductive capacity (2024–2025)

Увеличение и снижение температуры воздуха отрицательно влияет на репродуктивную способность самки *H. hebetor*. По нашим данным максимальной плодовитостью обладают самки при температуре $23-25^\circ\text{C}$, в среднем количество отложенных самкой яиц

(рис. 3) составляет $112,7 \pm 57,4$ шт. По данным зарубежных исследователей оптимальными температурами для откладки яиц являются 25 и 30°C , а наименее благоприятной – 35°C (Mbata et al., 2021).

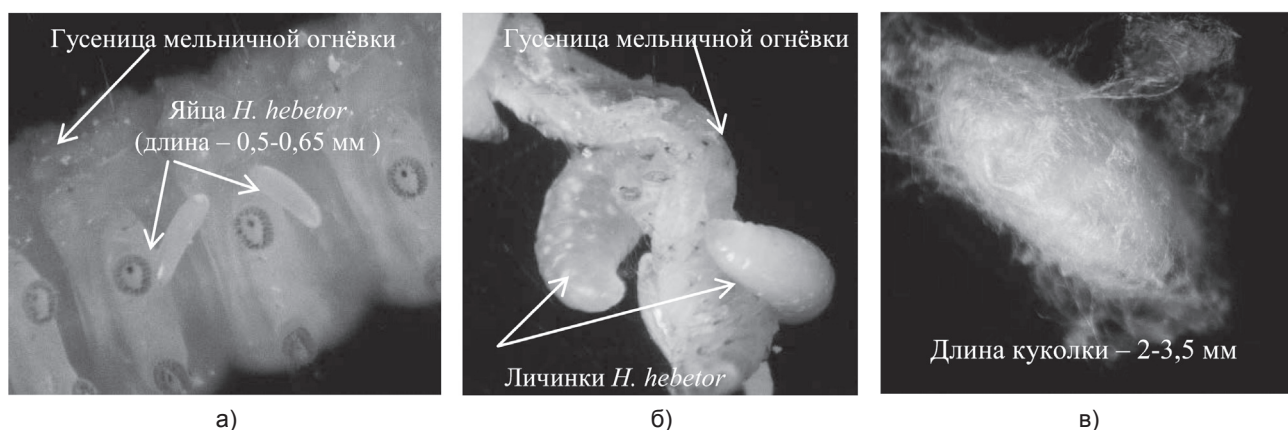


Рис. 3. Яйца (а), личинки (б) и куколка (в) *H. hebetor* (ориг.)

Fig. 3. Eggs (a), larvae (b), and pupa (c) of *H. hebetor* (orig.)

В ходе эксперимента было установлено, что наибольшее число дочерних особей (69 особи) получено при температуре 26–28 °С. Соотношение полов в популяции характеризует её качественное состояние, так как увеличение числа женских особей свидетельствует о тенденции к увеличению численности эктопаразита, а их сокращение и увеличение числа самцов – о противоположной тенденции. Выявлено, что количество самцов и самок зависит от условий разведения *H. hebetor*. Установлено, что максимальное число особей мужского пола формируется при пониженной температуре. Соотношение полов (самец : самка) в зависимости от внешних условий было 1,4:1,0 (20–22 °С) и 1:1,2 (23–25 °С и 26–28 °С). Примечательно, что при температуре 23–25 °С и 26–28 °С в среднем за два года исследований соотношение мужских и женских особей было одинаковое – 1:1,2. Это подтверждено опытами учёных из Китая. Так, по их данным наибольшее количество особей женского пола формируется при повышенных температурах (35 °С, 74%), а наименьшее

– при 15 °С (43%) (Mbata et al., 2021).

Для массового разведения габробракона важное значение имеют такие показатели, как выживаемость эмбрионов (табл. 1) и гибель личинок эктопаразита. Одним из признаков качества яиц насекомых является «количество отрождённых личинок». В результате исследований установлено, что наиболее высокий процент отродившихся из яиц и выживших личинок, а так же количество сформировавшихся куколок наблюдается при температуре 26–28 °С. Выявлено, что снижение температуры ведёт к уменьшению данных показателей. Это подтверждается исследованиями ФНЦБЗР (Богатырев и Агасьева, 2019). По их данным максимальная выживаемость личинок габробракона наблюдается при температуре 23–29 °С (влажность 75–90%).

В результате наших наблюдений выявлено, что наиболее максимальный преимагинальный период развития дочерних особей *H. hebetor* отмечается при температуре 20–22 °С (21,1±1,2 сут.)

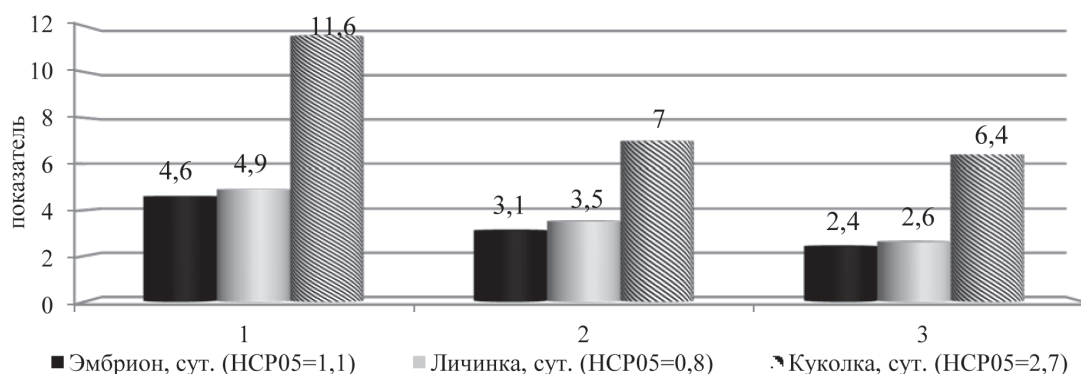
Таблица 1. Влияние абиотических факторов среды на выживаемость и цикл развития потомства самки *H. hebetor* (2024–2025 гг.)

Table 1. The influence of abiotic environmental factors on survival and development of *H. hebetor* female offspring (2024–2025)

Вариант опыта (температура / влажность)	Количество отродившихся личинок, шт.	Выживаемость эмбрионов, %	Количество образовавшихся куколок, шт.	Выживаемость личинок, %	Преимагинальный период развития потомства, сут.
20-22 °С, / (35–50 %)	63,3±1,5	75,2±2,0	42,8±4,6	67,6±2,4	21,1±1,2
23-25 °С / (31–45 %)	93,4±43,9	85,2±4,4	71,6±26,8	76,7±9,5	13,6±0,2
26-28 °С / (27–48 %)	91,1±11,4	87,5±4,3	83,5±12,5	91,7±2,3	11,4±1,8

Различный температурный режим и фотопериод повлияли на продолжительность стадий онтогенеза *H. hebetor* (рис. 4). Пониженные температуры способствуют увеличению периода развития эмбрионов, личинок и куколок до 4,6±2,4, 4,9±3,1 и 11,6±

1,4 сут. соответственно. При увеличении температуры до +26–28 °С продолжительность стадии эмбриогенеза снижается до 2,4±1,6 сут., личинок – до 2,6±1,4 и куколок – до 6,4±2,6.



Примечание. * Варианты:

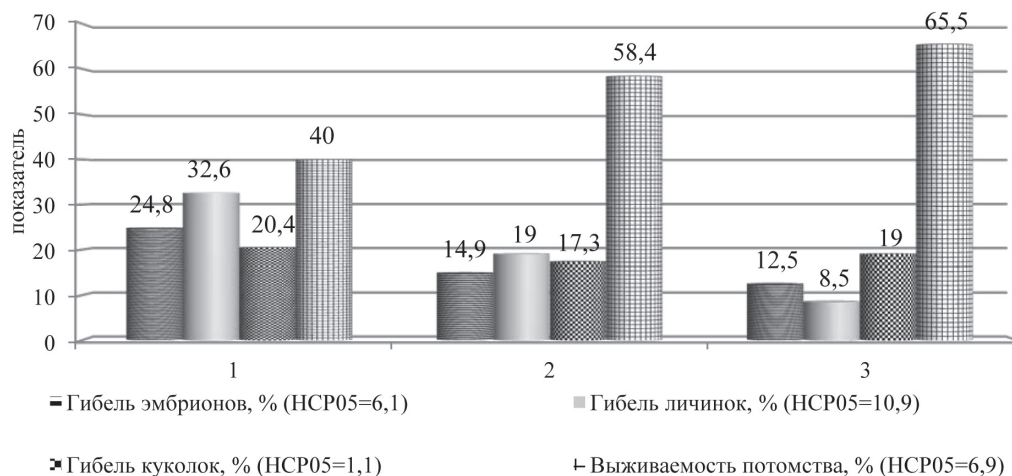
1. Температура – 20–22 °С, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч;
2. Температура – 23–25 °С, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч;
3. Температура – 26–28 °С, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч.

Рис. 4. Влияние внешних факторов среды на параметры разведения эктопаразита *H. hebetor* (2024–2025 гг.)

Fig. 4. The influence of external environmental factors on the ontogenesis of the *H. hebetor* ectoparasite (2024–2025)

По нашим данным гибель эмбрионов энтомофага при температуре +20–22 °С составила 24,8±2,4 %, при 23–25 °С – 14,9±4,4 % и при 26–28 °С – 12,5±4,3 %, а гибель личинок – 32,6±5,6 %, 19,0±9,5 % и 8,5±2,2 % соответственно (рис. 5). Для развития личинок оптимальной температурой является 26–28 °С, при которой процент выживших личинок был максимальным (91,5 %). При этом максимальная

гибель куколок наблюдается при повышенных и пониженных температурах. Высокая выживаемость потомства габробракона выявлена при температуре 26–28 °С (фотопериод 16 ч.) (65,5±13,3 %). Так же исследованиями Sohana S. доказано, что максимальное количество выживших личинок (до 87 %) и взрослых особей (до 98 %) получено при фотопериодах 16 ч. и 24 ч. (Sohana Saba, 2023).



Примечание. * Варианты:

1. Температура – 20–22 °С, влажность – 35–50 %, фотопериод – 12 ч;
2. Температура – 23–25 °С, влажность – 31–45 %, фотопериод – 16 ч;
3. Температура – 26–28 °С, влажность – 27–48 %, фотопериод – 16 ч.

Рис. 5. Влияние внешних факторов среды на параметры разведения эктопаразита *H. hebetor* (2024–2025 гг.)

Fig. 5. The influence of external environmental factors on the breeding parameters of the *H. hebetor* ectoparasite (2024–2025)

Выводы. В результате работы выявлено, что оптимальными условиями для жизнедеятельности самки и её репродуктивной способности являются температура 23–25 °С (фотопериод – 16 ч.), а для развития её потомства – 26–28 °С (фотопериод – 16 ч.). По нашим данным пониженные температуры способствуют увеличению периода развития эмбрионов, личинок и куколок, а при температуре 20–22 °С (фотопериод –

12 ч.) зафиксирована максимальная их смертность.

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. Богатырев О.Д., Агасьева И.С. Массовое разведение энтомофага *Habrobracon hebetor* Say: технические решения, позволяющие снизить стоимость конечной продукции // Плодоводство и ягодоводство России. 2019. Т. 59, С. 207-211. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-207-211
2. Бойко С.В., Трепашко Л.И., Немкевич М.Г., Ильюк О.В., Василевская Л.П. Химическая защита ячменя ярового от вредителей // Защита растений. 2021. № 45. С. 184-197. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-184-197
3. Исмаилов В.Я., Агасьева И.С., Настасий А.С. *Habrobracon hebetor* Say – эффективный паразит в борьбе с яблонной плодовой жук // Садоводство и виноградарство. 2020. № 2. С. 52-57. DOI: 10.31676/0235-2591-2020-2-52-57
4. Сидоров Н.М., Астахов М.М., Жевнова Н.А., Асатурова А.М., Томашевич Н.С. Микробиологическая защита риса от пирикулярриоза с использованием БПЛА в условиях Краснодарского края // Защита и карантин растений. 2024. № 8. С. 18-21. DOI: 10.47528/1026-8634_2024_8_18
5. Чучунов В.А., Радзиевский Е.Б., Коноблеи Т.В., Самойлова Т.С., Перепелица М.А. Использование габробракона притупленного для защиты пчелиной суши // Вестник НГАУ. 2023. № 1 (66). С. 232-240. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-232-231
6. Abedi Z., Golizadeh A., Hassanpour M., Soufbaf M. Performance of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) on different pomegranate cultivars // International Journal of Tropical Insect Science. 2021. Vol. 41, № 1. С. 95-105. DOI: 10.1007/s42690-020-00179-8
7. Agasyeva I. Ectoparasite *Habrobracon hebetor* Say is an efficient biological control agent of lepidopteran pests // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 285. С. 03010. DOI: 10.1051/e3sconf/202128503010
8. Huang Y., Liu W., Lu J., Wang W., Guo Ya. Temperature effect on the growth and development of *Habrobracon*

hebetor Say (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Ephestia elutella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) larvae // Insects. 2024. T. 15, № 5. C. 336. DOI: 10.3390/insects15050336

9. Mbata G.N., Warsi S., Payton M.E. Influence of temperature and photoperiod on the fecundity of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and on the paralysis of host larvae, *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) // Insects. 2021. T. 12, № 8. C. 753

10. Ou H., Wang X., Yu J., Huang Ya., Yu X., Wei L., Yang M. Asymmetric sex body size and reproductive fitness relation and offspring population parameters of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) // Journal of Stored Products Research. 2023. Vol. 102. C. 102123. DOI: 10.1016/j.jspr.2023.102123

11. Sohana Saba. Effect of photoperiod regimes on the biological traits of parasitoid *Habrobracon hebetor* (Say) rearing on rice moth *corcyra cephalonica* (stainton) // Journal of Knowledge Learning and Science Technology. 2023. Vol. 1, № 1. P. 1-24.

References

1. Bogatyrev O.D., Agas'eva I.S. Massovoe razvedenie entomofaga *Habrobracon hebetor* Say: tekhnicheskie resheniya, pozvolyayushchie snizit' stoimost' konechnoj produktsii [Mass breeding of the entomophagous insect *Habrobracon hebetor* Say: technical solutions to reduce the cost of the final product] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii. 2019. T. 59, S. 207-211. DOI: 10.31676/2073-4948-2019-59-207-211

2. Bojko S.V., Trepashko L.I., Nemkevich M.G., Il'yuk O.V., Vasilevskaya L.P. Himicheskaya zashchita yachmenya yarovogo ot vreditel' [Chemical pest control of spring barley] // Zashchita rastenij. 2021. № 45. S. 184-197. DOI: 10.47612/0135-3705-2021-45-184-197

3. Ismailov V.YA., Agas'eva I.S., Nastasij A.S. *Habrobracon hebetor* Say – effektivnyj parazit v bor'be s yablonnoj plodozhorkoj [*Habrobracon hebetor* Say is an effective parasite in the fight against the codling moth] // Sadovodstvo i vinogradstvo. 2020. № 2. S. 52-57. DOI: 10.31676/0235-2591-2020-2-52-57

4. Sidorov N.M., Astahov M.M., Zhevnova N.A., Asaturova A.M., Tomashevich N.S. Mikrobiologicheskaya zashchita risa ot pirikulyarioza s ispol'zovaniem BPLA v usloviyah Krasnodarskogo kraja [Microbiological protection of rice from blast using UAVs in the Krasnodar Territory] // Zashchita i karantin rastenij. 2024. № 8. S. 18-21. DOI: 10.47528/1026-8634_2024_8_18

5. Chuchunov V.A., Radzievskij E.B., Konoblej T.V., Samojlova T.S., Perepelica M.A. Ispol'zovanie *Habrobracon hebetor* Say pri tuplennogo dlya zashchity pchelinoj sushi [The use of *Habrobracon hebetor* Say to protect bee colonies] // Vestnik NGAU. 2023. № 1 (66). S. 232-240. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-232-231

6. Abedi Z., Golizadeh A., Hassanpour M., Soufbaf M. Performance of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) parasitizing *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) on different pomegranate cultivars // International Journal of Tropical Insect Science. 2021. Vol. 41. № 1. C. 95-105. DOI: 10.1007/s42690-020-00179-8

7. Agasyeva I. Ectoparasite *Habrobracon hebetor* Say is an efficient biological control agent of lepidopteran pests // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 285. C. 03010. DOI: 10.1051/e3sconf/202128503010

8. Huang Y., Liu W., Lu J., Wang W., Guo Ya. Temperature effect on the growth and development of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Ephestia elutella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) larvae // Insects. 2024. T. 15, № 5. C. 336. DOI: 10.3390/insects15050336

9. Mbata G.N., Warsi S., Payton M.E. Influence of temperature and photoperiod on the fecundity of *Habrobracon hebetor* Say (Hymenoptera: Braconidae) and on the paralysis of host larvae, *Plodia interpunctella* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) // Insects. 2021. T. 12, № 8. C. 753.

10. Ou H., Wang X., Yu J., Huang Ya., Yu X., Wei L., Yang M. Asymmetric sex body size and reproductive fitness relation and offspring population parameters of *Habrobracon hebetor* (Say) (Hymenoptera: Braconidae) // Journal of Stored Products Research. 2023. Vol. 102. C. 102123. DOI: 10.1016/j.jspr.2023.102123

11. Sohana Saba. Effect of photoperiod regimes on the biological traits of parasitoid *Habrobracon hebetor* (Say) rearing on rice moth *corcyra cephalonica* (stainton) // Journal of Knowledge Learning and Science Technology. 2023. Vol. 1. № 1. P. 1-24.

Поступила: 06.06.25; доработана после рецензирования: 04.03.26; принята к публикации: 30.04.26.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Теличко О.Н. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, проведение лабораторного опыта. Сырмолот О.В. – проведение лабораторного опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.