
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

Т. 15, № 1. 2023 год

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

Калинина Н. В. – главный редактор (Зерноград, Россия);
Голубова В. А. – зам. главного редактора, канд. биол. н. (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 УрФАНЦ 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);
Пахомов В. И. – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, доцент, ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Сандухадзе Б. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В. С. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ООО «СП ССК «Кукуруза» (Пятигорск, Россия);
Храмцов И. Ф. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омск, 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 н., 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,
выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученой степени доктора и кандидата наук (группа научных специальностей 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство). Журнал входит в базу данных
Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ). Журнал входит в международную базу данных DOAJ.

Перевод на английский язык – Скуйбеда О. Н.

Адрес издательства и редакции: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.
E-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.02.2023
Дата выхода 28.02.2023. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ № 000
Отпечатано в ООО «Амирит». 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL

GRAIN ECONOMY OF RUSSIA

V. 15, № 1. 2023

The founder 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.

Kalinina N. V. – chief editor (Zernograd, Russia);
Golubova V. A. – deputy chief editor, Cand. Sci. (Biology) (Zernograd, Russia);
Sharova S. Y. – 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. Lukiyanenko 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);
Pakhomov V. I., Agricultural Research Center "Donskoy" – Dr. Sci. (Technology), docent, corresponding member of RAS (Zernograd, Russia);
Sandukhadze B. I., Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V. S., All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Khrantsov I. F., Omsk Agrarian Scientific Center – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Omsk, 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 journal has been included in the List of the leading peer-reviewed scientific publications where there are published
the main scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences
(scientific specialty 4.1. Agronomy, forestry, water economy). The journal is introduced into the system of Russian Science Citation
Index on the platform of Web of Science (core of RSCI). The journal has been included in the International Data Base DOAJ.

English version is of Olga N. Skuybedina.

The official address of the editorial board is 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3.
E-mail: zhros.don@yandex.ru

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.02.2023
The date of the issue is 28.02.2023. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No 000
Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Илюшко М. В., Гученко С. С., Лелявская В. Н., Выборова Т. А., Ромашова М. В. Продуктивность и устойчивость к пирикулярриозу андрогенных удвоенных гаплоидов риса <i>Oryza sativa</i> L.	5
Регидин А. А., Игнатьев С. А., Кравченко Н. С., Горюнов К. Н. Продуктивность новых сортов и перспективных линий эспарцета в условиях юга России	12
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	17
Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Анисимкина Н. В. Оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя в условиях Среднего Поволжья	23
Костылев П. И., Краснова Е. В., Аксенов А. В., Балюкова Э. С. Сегрегация количественных признаков у гибрида риса F ₂ Khao Hlan On × Контакт	29
Иванисов М. М., Марченко Д. М., Кравченко Н. С., Копусь М. М. Изучение показателей качества современных сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»	35
Левакова О. В., Гладышева О. В., Ерошенко Л. М. Адаптированный к условиям Центрального региона новый сорт ячменя ярового Рафаэль	42
Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Шуршалин В. А., Ермолина Г. М. Подбор сортов сорговых культур для Северо-Кавказского региона России	50
Засыпкина И. М., Филиппов, Е. Г. Оценка сортов озимого ячменя по величине урожайности и показателям адаптивности в условиях Нижнего Дона	56
Кравченко Н. С., Игнатьев С. А., Игнатьева Н. Г., Регидин А. А. Биохимический состав и питательность зеленой массы сортов и перспективных линий эспарцета	64
Иванисова А. С., Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Кабанова Н. В., Кирина И. М. Урожайность и качество зерна озимой твердой пшеницы различных групп спелости	70
Черткова Н. Г., Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Марченко Д. М. Оценка результативности получения регенерантных линий озимой мягкой пшеницы в культуре пыльников <i>in vitro</i>	76
Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Орлянская Н. А., Панфилова О. Н. Параметры экологической пластичности и стабильности родительских форм гибридов кукурузы	82

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Волков А. И., Прохорова Л. Н., Селюнин В. В. Изучение эффективности прямого посева зерновых культур в Чувашской Республике	89
---	----

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Кремнева О. Ю., Гасиян К. Э. Применение спороулавливающей аппаратуры для обнаружения болезней зерновых культур (обзор)	94
---	----

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Ilyushko M. V., Guchenko S. S., Lelyavskaya V. N., Vyborova T. A., Romashova M. V. Productivity and blast resistance of the androgenic doubled rice haploids <i>Oryza sativa</i> L.	5
Regidin A. A., Ignatiev S. A., Kravchenko N. S., Goryunov K. N. Productivity of new sainfoin varieties and promising lines in the conditions of the south of Russia	12
Gromova S. N., Skripka O. V., Podgorny S. V., Samofalov A. P., Chernova V. L. Environmental testing of winter bread wheat varieties and lines in the conditions of the southern part of the Rostov region	17
Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Anisimkina N. V. Estimation of biochemical and technological indicators of grain of hulled and hulls barley varieties in the conditions of the Middle Volga region	23
Kostylev P. I., Krasnova E. V., Aksenov A. V., Balyukova E. S. Segregation of a number of quantitative traits in the rice hybrid F ₂ 'Khao Hlan On × Kontakt'	29
Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kravchenko N. S., Kopus M. M. Study of the quality indicators of modern winter wheat varieties developed by the FSBSI ARC "Donskoy"	35
Levakova O. V., Gladysheva O. V., Eroshenko L. M. New spring barley variety 'Rafael' adapted to the conditions of the Central region	42
Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Shurshalin V. A., Ermolina G. M. Selection of grain sorghum varieties for the north Caucasian region of Russia	50
Zasypkina I. M., Filippov E. G. Estimation of winter barley varieties according to productivity and adaptability indicators in the conditions of the Lower Don	56
Kravchenko N. S., Ignatiev S. A., Ignatieva N. G., Regidin A. A. Biochemical composition and nutritional value of green mass of the sainfoin varieties and promising lines	64
Ivanisova A. S., Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Kabanova N. V., Kirina I. M. Productivity and grain quality of winter durum wheat of various maturity groups	70
Chertkova N. G., Kalinina N. V., Dontsova V. Yu., Marchenko D. M. Estimation of the efficiency of developing regenerative winter bread wheat lines in anther culture <i>in vitro</i>	76
Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S., Gorbacheva A. G., Vetoshkina I. A., Orlyanskaya N. A., Panfilova O. N. Parameters of environmental adaptability and stability of parental forms of maize hybrids	82

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT-BREEDING

Volkov A. I., Prokhorova L. N., Selyunin V. V. Study of the efficiency of direct (no-till) sowing of grain crops in the Republic of Chuvashia	89
--	----

PLANT PROTECTION

Kremneva O. Yu., Gasiyan K. E. The use of spore-catching equipment detecting diseases of grain crops (review)	94
--	----

В журнале «Зерновое хозяйство России» Т. 14, № 6 от 2022 г. в статье «Сила связи зерна с колосом трититригии сорта памяти Любимовой в фазу полной спелости» на стр. 84–85 указано о создании трититригии сорта Памяти Любимовой в ФГБНУ «Национальный центр зерна имени П. П. Лукияненко». Сообщаем, что данная информация не соответствует действительности. Разработчик и оригинатор трититригии сорта Памяти Любимовой – ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН.

Редакция приносит извинения ФГБУН Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН.

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

УДК 633.18:631.524.86:577.27(571.63)

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-5-11

ПРОДУКТИВНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ К ПИРИКУЛЯРИОЗУ АНДРОГЕННЫХ УДВОЕННЫХ ГАПЛОИДОВ РИСА *ORYZA SATIVA L.*

М. В. Илюшко¹, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии, ilyushkoiris@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7042-8641;

С. С. Гученко¹, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, lana_svet8@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3492-8934;

В. Н. Леявская², младший научный сотрудник лаборатории фитопатологии, dalniizr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3455-5536;

Т. А. Выборова², младший научный сотрудник лаборатории фитопатологии, tataop18@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3420-9844;

М. В. Ромашова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории сельскохозяйственной биотехнологии, romashova_1969@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7426-8523

¹ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», 692539, Приморский край, г. Уссурийск, п. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30; e-mail: fe.smc_rf@mail.ru;

²ДВНИИЗР – филиал «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», 692684, Приморский край, с. Камень-Рыболов, ул. Мира, 42а; e-mail: dalniizr@mail.ru

Большинство дальневосточных сортов риса поражается пирикулярриозом в сильной степени, поэтому необходима селекция устойчивых образцов. Цель исследования – оценка и отбор андрогенных удвоенных гаплоидов риса посевного *Oryza sativa L.*, иммунных к возбудителю болезни риса пирикулярриозу *Pyricularia oryzae* Cav. Проводили оценку продуктивности 36 андрогенных линий удвоенных гаплоидов DH₁ риса, полученных из семи гибридов F₁, в условиях вегетационной площадки. Тридцать три из них обладали аллелями устойчивости генов семейства *Pi*. Определяли устойчивость девяти DH₁ на искусственном инфекционном фоне, инокулируя растения риса методом опрыскивания водной суспензией конидий гриба *P. oryzae*. Работу проводили в течение двух вегетационных периодов в ФГБНУ «ФНЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки». Выделено 15 линий удвоенных гаплоидов риса *O. sativa* с пирамидой генов устойчивости к пирикулярриозу, соответствующих по показателям продуктивности контрольному сорту Долинный. За два года исследований масса зерна главной метелки в среднем колебалась в пределах 1,4–2,2 г, масса зерна с растения – от 1,5 до 2,0 г, масса 1000 зерен превышала 27 г. Подтверждено негативное влияние аллеля 239 п.н. гена *Pi-2* индивидуально или в сочетании с аллелем устойчивости гена *Pi-1* на иммунитет дальневосточных образцов риса. Индивидуально гены *Pi-z* и *Pi-ta2* или пирамида с их участием обеспечивают устойчивый тип реакции линий DH и сорта Долинный на приморские изоляты *P. oryza* – средний балл поражения от 1,7 до 2,6. Все линии удвоенных гаплоидов характеризовались позднеспелостью и представляют интерес в селекционном процессе в качестве родительских форм в гибридизации со скороспелыми сортами *O. sativa* дальневосточной селекции.

Ключевые слова: *Oryza sativa L.*, удвоенные гаплоиды, продуктивность, пирикулярриоз, гены устойчивости *Pi*, маркер-ориентированная селекция.

Для цитирования: Илюшко М. В., Гученко С. С., Леявская В. Н., Выборова Т. А., Ромашова М. В. Продуктивность и устойчивость к пирикулярриозу андрогенных удвоенных гаплоидов риса *Oryza sativa L.* // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-5-11.



PRODUCTIVITY AND BLAST RESISTANCE OF THE ANDROGENIC DOUBLED RICE HAPLOIDS *ORYZA SATIVA* L.

M. V. Ilyushko¹, Candidate of Biological Sciences, docent, leading researcher of the laboratory for agricultural biotechnologies, ilyushkoiris@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7042-8641;

S. S. Guchenko¹, researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, lana_svet8@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3492-8934;

V. N. Lelyavskaya², junior researcher of the laboratory for phytopathology, dalniizr@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3455-5536;

T. A. Vyborova², junior researcher of the laboratory for phytopathology, tataop18@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3420-9844;

M. V. Romashova¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for agricultural biotechnologies, romashova_1969@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7426-8523

¹FSBSI FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East names after A.K. Chaika, 692539, Primorsky Krai, Usuriysk, V. of Timiryazevsky, Volozhenin Str., 30; e-mail: fe.smc_rf@mail.ru;

²FERIPP, a branch of the FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East names after A.K. Chaika, 692684, Primorsky Krai, V. of Kamen-Rybolov, Mir Str., 42a; e-mail: dalniizr@mail.ru

Most Far Eastern rice varieties are heavily affected by blast, so breeding of resistant samples is of great necessity. The purpose of the current study was to estimate and select androgenic doubled rice haploids *Oryza sativa* L. with an immune to the rice blast pathogen *Piricularia oryzae* CaV. There has been estimated productivity of 36 androgenic lines of doubled rice haploids DH₁, identified from seven F₁ hybrids under the area vegetation conditions. Thirty-three of them have had resistance alleles of the genes of the *Pi* family. There has been determined resistance of nine DH₁ at an artificial infectious background when inoculating rice plants by spraying with an aqueous suspension of conidia *P. oryzae*. The study was carried out during two vegetation periods in the FSBSI FSC of Agricultural Biotechnology of the Far East names after A. K. Chaika. There have been identified fifteen lines of doubled rice haploids *O. sativa* with a pyramid of blast resistance genes, corresponding to the control variety 'Dolinnny' according to its productivity. Over two years of study, mean grain weight per main panicle ranged from 1.4–2.2 g, grain weight per plant was from 1.5 to 2.0 g, and 1000-grain weight exceeded 27 g. There was a negative effect of the 239 bp allele of the *Pi-2* gene individually or in combination with the resistance allele of the *Pi-1* gene on the immunity of Far Eastern rice varieties. Individually, the *Pi-z* and *Pi-ta2* genes or a pyramid with their participation provide a stable type of reaction of the DH lines and the variety 'Dolinnny' to the Primorsky isolates of *P. oryzae* with a mean damage rate from 1.7 to 2.6 points. All lines of doubled haploids were characterized by late-maturity and are of interest in the breeding process as parental forms in hybridization with early maturing varieties *O. sativa* of the Far Eastern breeding.

Keywords: *Oryza sativa* L., doubled haploids, productivity, blast, *Pi* resistance genes, marker-oriented breeding.

Введение. Рисоводство Дальнего Востока России в течение более чем столетней истории переживало значительные колебания в производстве риса. В постсоветский период, после резкого сокращения посевных площадей в начале 2000-х годов, наметился подъем отрасли, посевная площадь увеличилась к 2014 г. до 22 тыс. га (Чайка и Ващенко, 2017). Основным рисосеющим субъектом РФ на Дальнем Востоке остается Приморский край. В 2021 г. в крае было посеяно 6734 га риса, средняя урожайность – 2,44 т/га (Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Приморском крае, 2022). Отсутствие стабильности в отрасли связано с необходимостью реконструкции мелиоративных систем и дороговизны воды, необходимой для возделывания риса (Носовский и др., 2015).

Селекция – непрерывный процесс, она не может себе позволить дискретность, присущую производству, и в Приморском крае результативно ведется с тридцатых годов прошлого столетия. Современные сорта риса имеют потенциал урожайности до 5,5 т/га, устойчивы к полеганию, осыпанию, пирикулярриозу, с высокими технологическими показателями качества крупы (Чайка и Ващенко, 2017). Однако иммунность к пирикулярриозу (основному грибному заболеванию риса) остается средней (Илюшко и др., 2022). Известно, что чрезмерное использование азотных удобрений увели-

чивает количество участков, пораженных пирикулярриозом, что уменьшает урожайность (Srivastava et al., 2017) и способно спровоцировать эпифитотию заболевания (Коротенко и др., 2018; Дубина и др., 2018). В этой связи сельхозтоваропроизводители региона предпочитают применять средние дозы минеральных удобрений. Таким образом, уже на этапе планирования сборов и покупки удобрений потенциал сорта используется лишь частично. Поэтому для повышения урожайности в производственных условиях дальневосточному рисоводству необходимы сорта с высокой степенью устойчивости к пирикулярриозу.

Андрогенез *in vitro* результативно применяется для создания гомозиготного константного исходного материала (удвоенные гаплоиды – DHs) в селекции риса на протяжении длительного времени (Куум et al., 2021). Молекулярно-генетическое сопровождение стало неотъемлемой частью селекционного процесса на устойчивость к болезням в лидирующих рисосеющих странах мира (Srivastava et al., 2017; Костылев, 2017). Пребридинг с помощью этих методов привел к получению ряда андрогенных удвоенных гаплоидов из дальневосточных гибридов риса (Мельничук и др., 2021). Поэтому цель работы – оценка и отбор андрогенных удвоенных гаплоидов риса посевного *Oryza sativa* L., иммунных к возбудителю болезни риса пирикулярриозу *Piricularia oryzae* CaV.

Материалы и методы исследований.

Проводили оценку продуктивности 36 андрогенных линий удвоенных гаплоидов DH₁ риса, полученных из семи гибридов F₁ в условиях вегетационной площадки ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки в 2020–2021 годах. Использованы следующие гибриды F₁: Алмаз×Магнат (А×М), Долинный×Магнат (Д×М), Дубрава×Виола (Дб×В), Рассвет×(Окси 2×Дарий 23) (Р×О×23), Алмаз×[(Марателли 5А×Боярин)×Марателли 5А] (4Р), 242-02×Рассвет (242×Р), Луговой×Марателли 5А (Л×5А). Тридцать две линии DHs обладали аллелями устойчивости одного-четырех генов семейства *Pi*, ответственных за резистентность к пирикулярриозу: *Pi-1*, *Pi-2*, *Pi-z*, *Pi-ta*, *Pi-ta2*. Порядок учетов, наблюдений и маркер-ориентированной селекции изложен в работах (Илюшко и др., 2017; Мельничук и др., 2021; Илюшко и др., 2022). В качестве контроля использовали районированный сорт Долинный. Оценка продуктивности DHs проводили в однократной повторности. Метеоусловия вегетационных периодов соответствовали биологическим требованиям культуры. Суммы активных температур несколько превышали среднемноголетние в летний период.

Изучение устойчивости к пирикулярриозу девяти линий удвоенных гаплоидов проводили в 2021–2022 гг. в условиях вегетационного домика по методике, разработанной для риса (Коваленко и др., 1988). Выбрали DHs с пирамидами или одиночными генами *Pi*, за исключением наиболее позднеспелых линий, полученных от гибридов А×М и Д×М. Для подтверждения действия пирамиды генов использовали DHs различных каллусных линий или гибридов: по генам *Pi-1* и *Pi-2* 610.2.1(9) гибрида Дб×В и 554.1.1(8) 242×Р; по генам *Pi-ta* и *Pi-ta2* 509.1.1(15) и 541.1.1(1) гибрида Р×О×23; по генам *Pi-z*, *Pi-ta* и *Pi-ta2* 415.2.1(2) и 416.1.2(2) гибрида Л×5А. Отсутствие внутрикалусной изменчивости по устойчивости проследили на каллусной линии 416.1.2 гибрида Л×5А растения № 2 и 7. Отсутствие аллелей устойчивости определяемых генов изучили на DH 554.1.1(7) гибрида 242×Р.

В работе использовали наиболее жизнеспособные изоляты фитопатогена *P. oryza* с высокой спорулирующей способностью из микологической коллекции центра и моноспоровые изоляты, выделенные из гербарного материала, собранного в производственных посевах риса в Приморском крае. Набор изолятов в годы исследований различался на 70 % и составлял 10–14 шт. В 2021 г. использовали изоляты ЛСТ₁₂, Гр₀₇, Л₀₅₋₁, Лу₁₁, Л₀₅₋₂, Чк₂₀, Нус₀₈, 4_{ач}, Чк_{20с}, 4_б, Пл₁₆, 5, Пл₁₇, Лст₁₂₋₁₄; в 2022 г. – Лл₁₀₋₁, Вп₁₀₋₁, Лл₀₉, смесь (ЛСТ₁₂, Хпс, Вп₁₁₋₁₆, В₁₃), Лу₁₁, В₁₃, Лст₁₂₋₁₄, Чк₂₀, Вп₁₁₋₁₆, ЛСТ₁₂, Хпс. В качестве контролей высевали три сорта риса: Дальневосточный – самый давний из районированных (с 1975 г.), Приморский 29 – используется в госсортоиспытании, Долинный – один из последних районирован-

ных сортов ФНЦ. Оценивали листовую форму поражения риса.

Достоверность различий образцов рассчитывали в дисперсионном анализе: превышение значений биометрических данных линий DHs над контрольным сортом выявляли применяя критерий Тьюки (число сравниваемых групп равно 36 линиям DHs с контролем); для обнаружения различий в восприимчивости линий и сортов использовали LSD тест (за повторность принимали годы исследования, то есть две) в программе Statistica.

Результаты и их обсуждение.

Оценка продуктивности удвоенных гаплоидов риса. Дисперсионный анализ выявил статистически существенные различия фактора «год» ($F = 108,1$, $p < 0,001$), фактора «линия удвоенного гаплоида» ($F = 13,2$, $p < 0,001$) и их взаимодействия ($F = 5,1$, $p < 0,001$). Условия года влияли разнонаправленно на линии DHs. Так, растения 610.2.1(14), полученные из гибрида Дб×В, и 416.1.2(17) из гибрида Л×5А в первый год оказались малопродуктивными с мелкой зерновкой, во второй год исследования показали высокие значения на уровне стандарта. Удвоенные гаплоиды 554.1.1(7) и 554.1.1(8) гибрида 242×Р, наоборот, в первый год исследований были более продуктивными, чем во второй (табл. 1). В результате двух лет исследований выделено 15 линий DHs, соответствующих по продуктивности контролю. Отдельные элементы продуктивности некоторых линий оказались выше, чем у сорта Долинный. В 2020 г. по массе 1000 зерен превысили контроль две линии (табл. 1); в 2021 г. по числу зерен главной метелки – две линии 610.2.1(9) и 610.2.1(13) гибрида Дб×В, по массе зерна с растения – одна линия 610.2.1(13), и одна линия 413.1.2(8) гибрида 4Р оказалась выше контроля по фертильности (96 %) при $p < 0,05$. Указанные DHs гибрида Дб×В имели низкую массу 1000 зерен – в среднем за два года 25,2 и 26,0 г. У пятнадцати лучших линий удвоенных гаплоидов масса зерна главной метелки колебалась в пределах 1,4–2,2 г, масса зерна с растения – от 1,5 до 2,0 г, масса 1000 зерен превышала 27 г в среднем за два года.

Восприимчивость удвоенных гаплоидов риса к пирикулярриозу. В ходе дисперсионного анализа выявлены достоверные различия между изученными линиями DHs и контрольными сортами (табл. 2). По результатам двух лет исследований восприимчивость контрольных образцов следующая: сорт риса Дальневосточный показал очень слабую иммунность к пирикулярриозу, Приморский 29 – промежуточный тип реакции, а Долинный – устойчивый тип реакции. Семь линий удвоенных гаплоидов менее восприимчивы, чем сорт Дальневосточный, исключением стали две линии 610.2.1(9) гибрида Дб×В и 554.1.1(8) гибрида 242×Р ($p < 0,05$). Линия 554.1.1(8) гибрида 242×Р уступает в иммунности трем линиям: 554.1.1(1) гибрида Р×О×23, 416.1.2(7) гибрида Л×5А и 413.1.2(8) гибрида 4Р. Линия 610.2.1(9) гибрида Дб×В бо-

лее восприимчива, чем сорт Долинный и четыре линии удвоенных гаплоидов: 5541.1.1(1) гибрида Р×О×23, 416.1.2(2) и 416.1.2(7) гибрида Л×5А, 413.1.2(8) гибрида 4Р при $p < 0,05$.

Таблица 1. Продуктивность лучших андрогенных линий удвоенных гаплоидов риса *Oryza sativa* L.
Table 1. Productivity of the best androgenic lines of doubled rice haploids *Oryza sativa* L.

Гибрид	Каллусная линия (номер растения)	Число зерен главной метелки, шт.		Масса зерна, г					
		2020 г.	2021 г.	главной метелки	2020 г.		2021 г.		
					растения	1000 шт.	главной метелки	растения	1000 шт.
Дб×В	476.2.1(7)	41, 0	66,8	1,2	1,8	28,2	1,9	2,0	27,7
Дб×В	610.2.1(15)	44,5	65,6	1,1	1,8	23,6	2,0	2,2	30,0
242×Р	554.1.1(7)	72,3	54,4	2,4	4,1	34,0	1,4	1,4	26,6
242×Р	554.1.1(8)	54,4	46,2	1,8	4,3	34,8	1,2	1,2	24,6
Р×О×23	509.1.1(15)	49,7	45,0	1,7	4,4	33,6	1,5	1,5	32,2
Р×О×23	509.1.1(17)	41,9	65,6	1,4	2,7	31,9	2,0	2,0	31,2
Р×О×23	509.1.1(19)	43,7	65,6	1,7	3,0	38,7	2,1	2,1	31,8
Р×О×23	509.1.1(20)	46,5	64,3	2,4	5,0	53,1	2,0	2,1	31,8
Р×О×23	541.1.1(1)	42,8	61,6	1,7	3,2	40,1*	1,8	2,0	28,8
Л×5А	415.2.1(2)	37,3	53,1	1,6	4,0	41,7	1,7	1,7	31,4
Л×5А	416.1.2(2)	39,2	53,0	1,6	3,7	40,3*	1,6	1,6	30,2
Л×5А	416.1.2(7)	43,1	49,0	1,6	3,4	37,8	1,5	1,5	30,7
Л×5А	416.1.2(10)	49,4	42,1	1,8	4,1	36,9	1,3	1,3	30,4
Л×5А	416.1.2(17)	25,4	67,9	0,6	0,7	24,5	2,2	2,2	31,6
4Р	413.1.2(8)	42,7	55,0	1,4	3,8	32,1	1,5	1,6	28,1
Долинный	–	62,2	58,3	1,9	3,4	30,6	1,7	1,8	29,0

Примечание. * – превышение над стандартом при $p < 0,05$.

Таблица 2. Восприимчивость андрогенных линий удвоенных гаплоидов риса *Oryza sativa* L. к пирикулярриозу
Table 2. Response of the androgenic lines of doubled rice haploids *Oryza sativa* L. to blast

Гибрид, сорт	Каллусная линия (номер растения)	Аллели устойчивости генов	Восприимчивость, балл поражения				Средняя	Тип реакции
			2021 г.		2022 г.			
			средний	высший	средний	высший		
Дб×В	610.2.1(9)	<i>Pi-1, Pi-2</i>	3,9	7	3,8	8	3,9	п.
242×Р	554.1.1(7)	—	1,9	6	2,6	7	2,3	уст.
242×Р	554.1.1(8)	<i>Pi-1, Pi-2</i>	3,9	8	3,5	7	3,7	п.
Р×О×23	509.1.1(15)	<i>Pi-ta, Pi-ta2</i>	1,7	5	3,0	5	2,4	уст.
Р×О×23	541.1.1(1)	<i>Pi-ta, Pi-ta2</i>	1,6	4	1,7	5	1,7	уст.
Л×5А	415.2.1(2)	<i>Pi-z, Pi-ta, Pi-ta2</i>	3,1	6	2,1	9	2,6	п.
Л×5А	416.1.2(2)	<i>Pi-z, Pi-ta, Pi-ta2</i>	2,6	6	1,5	8	2,1	уст.
Л×5А	416.1.2(7)	<i>Pi-z, Pi-ta, Pi-ta2</i>	2,0	4	1,5	6	1,8	уст.
4Р	413.1.2(8)	<i>Pi-z</i>	2,7	5	0,8	5	1,8	уст.
Приморский 29	—	<i>Pi-2</i>	4,0	7	1,9	8	3,0	п.
Долинный	—	<i>Pi-ta, Pi-ta2</i>	2,0	7	2,1	6	2,1	уст.
Дальневосточный	—	—	5,6	9	3,9	9	4,8	вос.
Дисперсионный анализ							F = 2,95 p = 0,04	—

Примечание. п. – промежуточный, уст. – устойчивый, вос. – восприимчивый.

Гены устойчивости риса к пирикулярриозу оказали различное влияние на восприимчивость удвоенных гаплоидов. Ранее выявлено, что аллель 239 п.н. гена *Pi-2*, использованный нами по аналогии с зерноградским сортом Магнат (Шилов и др., 2018) в качестве аллеля устойчивости, не оказывает положительного воздействия на приморские образцы риса (Илюшко и др., 2022). В данном исследовании аллелем 239 п.н. обладают сорт Примор-

ский 29 и две линии DHs – 610.2.1(9) гибрида Дб×В и 554.1.1(8) гибрида 242×Р в сочетании с аллелем устойчивости гена *Pi-1* и демонстрируют слабую иммунность образцов. Отсутствие аллеля 239 п.н. ведет к снижению восприимчивости риса к пирикулярриозу (табл. 2). Пирамидирование генов считается наиболее перспективным направлением селекции на устойчивость риса к пирикулярриозу (Srivastava et al., 2017; Дубина и др., 2015;

Коротенко и др., 2018). Xiao et al. (2017) показал, что объединение некоторых аллелей генов семейства *Pi* приводит к отрицательному аддитивному эффекту, и важно не просто наличие определенных для региона генов устойчивости в генотипе риса, а их действенное сочетание. Дальнейшую стратегию маркер-ориентированной селекции на ДВ РФ следует строить на негативном отборе аллеля 239 п.н. гена *Pi-2* при его самостоятельной представленности в генотипе риса или в сочетании с геном *Pi-1*.

Ген *Pi-ta2* относится к числу наиболее актуальных для Приморского края (Илюшко и др., 2022). Шесть испытанных образцов обладают аллелем устойчивости этого гена в сочетании с аллелями устойчивости генов *Pi-ta* и *Pi-z*. Пять из них демонстрируют стабильно устойчивый тип реакции на *P. oryza*. Одна линия 415.2.1(2) гибрида Лх5А оказалась с промежуточным типом реакции на *P. oryzae* в 2021 г. без достоверных отличий от других образцов по среднему показателю восприимчивости за два года. Поскольку родительские формы исходного гибрида являются носителями генов *Pi-z* и *Pi-ta*, *Pi-ta2*, то анализ проведен только по этим генам. Между тем, у риса известно более ста генов устойчивости к пирикулярриозу (Костылев, 2017; Srivastava et al., 2017). Вероятно вмешательство действия еще какого-то гена, который оказался за пределами наших исследований.

Таким образом, выделено шесть линий удвоенных гаплоидов риса с устойчивым типом реакции на пирикулярриоз, обладающих показателями элементов продуктивности на уровне контроля. Однако все линии DHs характеризовались позднеспелостью, поэтому могут быть использованы в селекционном процессе в качестве родительских форм в гибридизации со скороспелыми сортами *O. sativa* дальневосточной селекции. Из выделившихся по элементам продуктивности удвоенных гаплоидов, не прошедших оценку на иммунитет, пять представляют интерес в качестве носителей аллелей устойчивости генов *Pi-ta* и *Pi-z*.

Выводы.

1. Выделено 15 линий андрогенных удвоенных гаплоидов риса *O. sativa* с пирамидой генов устойчивости к пирикулярриозу, соответствующих по показателям продуктивности контрольному сорту. За два года исследований масса зерна главной метелки колебалась в пределах 1,4–2,2 г, масса зерна с растения – от 1,5 до 2,0 г, масса 1000 зерен превышала 27 г.

2. Подтверждено негативное влияние аллеля 239 п.н. гена *Pi-2* индивидуально или в сочетании с аллелем устойчивости гена *Pi-1* на иммунитет образцов риса – средний балл поражения за два года 3,0–3,9. Пирамида с участием генов *Pi-z* и *Pi-ta2* обеспечивает устойчивый тип реакции линий удвоенных гаплоидов и сорта Долинный на приморские изоляты *P. oryza* – средний балл поражения от 1,7 до 2,6.

Библиографические ссылки

1. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Приморском крае. Стат. сборник / Приморскстат. Владивосток, 2022. 144 с.
2. Дубина Е. В., Мухина Ж. М., Харитонов Е. М., Шиловский В. Н., Харченко Е. С., Есаулова Л. В., Коркина Н. Н., Максименко Е. П., Никитина И. Б. Создание устойчивых к пирикулярриозу сортов риса с использованием ДНК-маркерных технологий // Генетика. 2015. Т. 51, № 8. С. 881–886. DOI: 10.7868/S0016675815060053.
3. Дубина Е. В., Рубан М. Г., Анискина Ю. В., Шилов И. А., Велищаева Н. С., Костылев П. И., Макуха Ю. А., Пищенко Д. А. Изучение биоразнообразия *Pyricularia oryzae* CaV. в рисосеющих зонах юга России на основе метода ПЦР // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 10. С. 19–23. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11004.
4. Илюшко М. В., Гученко С. С., Лелявская В. Н., Безмутко С. В., Ромашова М. В. Устойчивость образцов конкурсного сортоиспытания и сортов риса *Oryza sativa* L. дальневосточной селекции к пирикулярриозу // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 1. С. 19–22. DOI: 10.31857/S2500262722010045.
5. Илюшко М. В., Фисенко П. В., Суницкая Т. В., Гученко С. С., Чжан Ц., Дэн Л.-В., Костылев П. И. Идентификация генов устойчивости к пирикулярриозу в сортах риса дальневосточной селекции с использованием ДНК-маркеров // Зерновое хозяйство России. 2017. № 4(52). С. 41–45.
6. Коваленко Е. Д., Горбунова Ю. В., Ковалева А. А., Ершова З. Г., Чернова Н. А., Жарова А. Ф., Наскидашвили Ж. Г., Водяной Л. А., Коломиец Т. М., Константинова Л. И., Киселева М. И., Воробьева Н. М., Плеханова Л. Ф., Кратенко В. П. Методические указания по оценке устойчивости сортов риса к возбудителю пирикулярриоза. М.: ВНИИФ, 1988. 30 с.
7. Коротенко Т. А., Брагина О. А., Супрун И. И., Мухина Ж. М., Епифанович Ю. В., Петрухненко А. А., Хорина Т. А. Резистентность к возбудителю пирикулярриоза и морфобиологические особенности генотипов коллекции *Oryza sativa* L. из разных эколого-географических групп в условиях Кубанской зоны рисосеяния // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 1. С. 69–78. DOI: 10.18699/VJ18.333.
8. Костылев П. И. Гены устойчивости риса к пирикулярриозу // Зерновое хозяйство России. 2017. № 1(49). С. 34–39.
9. Мельничук К. С., Гученко С. С., Ромашова М. В., Илюшко М. В. Оценка продуктивности удвоенных гаплоидов риса, отобранных в ходе маркер-ориентированной селекции на устойчивость к пирикулярриозу // Рисоводство. 2021. № 2(51). С. 6–11. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-51-2-6-11.
10. Носовский В. С., Носовский С. В., Золотов Б. А. Управление развитием и рисками производства риса в Приморском крае // Мелиорация и водное хозяйство. 2015. № 5. С. 6–13.

11. Чайка А. К., Ващенко А. П. Аграрная наука в Приморье (XX–XXI вв.). Владивосток: Рея, 2017. 228 с.
12. Шилов И. А., Анискина Ю. В., Велишаева Н. С., Колобова О. С., Шалаева Т. В., Костылев П. Н., Дубина Е. В. Технология массового скрининга риса на наличие генов устойчивости к пирикулярнозу *Pi-1*, *Pi-2* и *Pi-33* на основе мультиплексного микросателлитного анализа // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 11. С. 21–25. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11105.
13. Kyum M., Kaur H., Kamboj A., Goyal L., Bhatia D. Strategies and prospects of haploid induction in rice (*Oryza sativa*) // Plant Breeding. 2021. Vol. 1, № 1. DOI: 10.1111/pbr.12971.
14. Srivastava D., Shamim M., Kumar M., Mishra A., Pandey P., Kumar D., Yadav P., Siddiqui M. H., Singh K. N. Current status of conventional and molecular interventions for blast resistance in rice // Rice Science. 2017. Vol. 24, № 6. P. 299–321. DOI: 10.1016/j.rsci.2017.08.001.
15. Xiao N., Wu Y., Pan C., Yu L., Chen Y., Liu G., Li Y., Zhang X., Wang Z., Dai Z., Liang C., Li A. Improving of rice blast resistances in japonica by pyramiding major R genes // Frontiers Plant Science. 2017. Vol. 7, Article number 1918. DOI: 10.3389/fpls.2016.01918.

References

1. Valovye sbory i urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v Primorskom krae [Gross yields and grain crop productivity in the Primorsky Krai]. Stat. Sbornik / Primorskstat. Vladivostok, 2022. 144 s.
2. Dubina E. V., Mukhina Zh. M., Kharitonov E. M., Shilovskii V. N., Kharchenko E. S., Esaulova L. V., Korkina N. N., Maksimenko E. P., Nikitina I. B. Sozdanie ustoichivyykh k pirikulyariozu sortov risa s ispol'zovaniem DNK-markernyykh tekhnologii [Development of blast-resistant rice varieties when using DNA-marker technologies] // Genetika. 2015. T. 51, № 8. S. 881–886. DOI: 10.7868/S0016675815060053.
3. Dubina E. V., Ruban M. G., Aniskina Yu. V., Shilov I. A., Velishchaeva N. S., Kostylev P. I., Makukha Yu. A., Pishchenko D. A. Izuchenie bioraznoobraziya *Pyricularia oryzae* CaV. v risoseyushchikh zonakh yuga Rossii na osnove metoda PTsR [The study of *Pyricularia oryzae* CaV. biodiversity in the rice-growing parts of southern Russia based on the PCR method] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 10. S. 19–23. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11004.
4. Ilyushko M. V., Guchenko S. S., Lelyavskaya V. N., Bezmutko S. V., Romashova M. V. Ustoichivost' obraztsov konkursnogo sortoispytaniya i sortov risa *Oryza sativa* L. dal'nevostochnoi selektsii k pirikulyariozu [Blast resistance of the samples of the Competitive Variety Testing and rice varieties *Oryza sativa* L. of Far Eastern breeding] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2022. № 1. S. 19–22. DOI: 10.31857/S2500262722010045.
5. Ilyushko M. V., Fisenko P. V., Sunitskaya T. V., Guchenko S. S., Chzhan Ts., Den L.-V., Kostylev P. I. Identifikatsiya genov ustoichivosti k pirikulyariozu v sortakh risa dal'nevostochnoi selektsii s ispol'zovaniem DNK-markeroov [Identification of blast resistance genes in the rice varieties of Far Eastern breeding when using DNA-markers] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 4(52). S. 41–45.
6. Kovalenko E. D., Gorbunova Yu. V., Kovaleva A. A., Ershova Z. G., Chernova N. A., Zharova A. F., Naskidashvili Zh. G., Vodyanoi L. A., Kolomiets T. M., Konstantinova L. I., Kiseleva M. I., Vorob'eva N. M., Plekhanova L. F., Kratenko V. P. Metodicheskie ukazaniya po otsenke ustoichivosti sortov risa k vzbuditelyu pirikulyarioza [Methodical recommendations for estimating resistance of rice varieties to a blast pathogen]. M.: VNIIF, 1988. 30 s.
7. Korotenko T. A., Bragina O. A., Suprun I. I., Mukhina Zh. M., Epifanovich Yu. V., Petrukhnenko A. A., Khorina T. A. Rezistentnost' k vzbuditelyu pirikulyarioza i morfobiologicheskie osobennosti genotipov kolleksitsii *Oryza sativa* L. iz raznykh ekologo-geograficheskikh grupp v usloviyakh Kubanskoi zony risoseyaniya [Blast resistance and morphobiological features of *Oryza Sativa* L. collection genotypes from different ecological and geographical groups in the conditions of the Kuban rice-growing region] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. T. 22, № 1. S. 69–78. DOI: 10.18699/VJ18.333.
8. Kostylev P. I. Geny ustoichivosti risa k pirikulyariozu [Blast resistance genes in rice] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 1(49). S. 34–39.
9. Mel'nichuk K. S., Guchenko S. S., Romashova M. V., Ilyushko M. V. Otsenka produktivnosti udvoennykh gaploidov risa, otobrannykh v khode marker-orientirovannoi selektsii na ustoichivost' k pirikulyariozu [Estimation of productivity of the doubled rice haploids selected in the course of marker-based breeding for blast resistance] // Risovodstvo. 2021. № 2(51). S. 6–11. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-51-2-6-11.
10. Nosovskii V. S., Nosovskii S. V., Zolotov B. A. Upravlenie razvitiem i riski proizvodstva risa v Primorskom krae [Management of the development and risks of rice production in the Primorsky Krai] // Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo. 2015. № 5. S. 6–13.
11. Chaika A. K., Vashchenko A. P. Agrarnaya nauka v Primor'e (XX–XXI vv.) [Agricultural science in Primorye (the XX–XXI centuries)]. Vladivostok: Reya, 2017. 228 s.
12. Shilov I. A., Aniskina Yu. V., Velishaeva N. S., Kolobova O. S., Shalaeva T. V., Kostylev P. N., Dubina E. V. Tekhnologiya massovogo skringinga risa na nalichie genov ustoichivosti k pirikulyariozu *Pi-1*, *Pi-2* i *Pi-33* na osnove multipleksnogo mikrosatelitnogo analiza [Technology for a rice mass screening for the presence of blast resistance genes *Pi-1*, *Pi-2* and *Pi-33* based on multiplex microsatellite analysis] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 11. S. 21–25. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11105.
13. Kyum M., Kaur H., Kamboj A., Goyal L., Bhatia D. Strategies and prospects of haploid induction in rice (*Oryza sativa*) // Plant Breeding. 2021. Vol. 1, № 1. DOI: 10.1111/pbr.12971.
14. Srivastava D., Shamim M., Kumar M., Mishra A., Pandey P., Kumar D., Yadav P., Siddiqui M. H., Singh K. N. Current status of conventional and molecular interventions for blast resistance in rice // Rice Science. 2017. Vol. 24, № 6. P. 299–321. DOI: 10.1016/j.rsci.2017.08.001.
15. Xiao N., Wu Y., Pan C., Yu L., Chen Y., Liu G., Li Y., Zhang X., Wang Z., Dai Z., Liang C., Li A. Improving of rice blast resistances in japonica by pyramiding major R genes // Frontiers Plant Science. 2017. Vol. 7, Article number 1918. DOI: 10.3389/fpls.2016.01918.

Поступила: 11.11.22; доработана после рецензирования: 23.12.22; принята к публикации: 27.12.22.

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. Илюшко М. В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Гученко С. С. – подготовка опыта, выполнение вегетационных опытов; Лелявская В. Н. – подготовка опыта, выполнение вегетационных опытов, анализ данных; Выборова Т. А. – выполнение вегетационных опытов, анализ данных; Ромашова М. В. – выполнение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПРОДУКТИВНОСТЬ НОВЫХ СОРТОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЭСПАРЦЕТА В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

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

С. А. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории многолетних трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье представлены результаты изучения перспективных линий эспарцета в конкурсном сортоиспытании. Цель исследований – оценка кормовой, семенной продуктивности и качества кормовой массы новых сортов и перспективных линий эспарцета для внедрения лучших из них в производство и использования в селекции. Исследования проводили на полях ФГБНУ «АНЦ «Донской». Объектом изучения являлись девять сортов и перспективных линий эспарцета. Стандарт – сорт эспарцета Велес. По результатам исследований урожайность зеленой массы линий Син 2/2010, Син 4/2010 и Син 8/95 составила 30,1, 30,1 и 30,3 т/га, или на 7,9 и 8,6 % выше, чем у стандарта Велес (27,9 т/га). В среднем за 2 цикла урожайность семян изучаемых линий варьировала от 0,93 до 1,02 т/га и была достоверно выше, чем у стандарта (0,85 т/га). В среднем за два цикла наибольшей урожайностью семян (1,02 т/га) выделились линии Син 3/2010 и Син 3/2004. Линии Син 13/93 и Син 4/2010 соответственно на 9,8 % и 10,0 % превысили стандарт Велес по урожайности сухого вещества, на 14,6 % и 14,8 % выходу с 1 га кормовых единиц. Линии Син 3/2010, Син 3/2004 и Син 13/93 будут размножаться на изолированных участках для последующего их изучения в условиях производства.

Ключевые слова: эспарцет, линия, продуктивность, зеленая масса, сухое вещество, семена, сырой протеин.

Для цитирования: Регидин А. А., Игнатьев С. А., Кравченко Н. С., Горюнов К. Н. Продуктивность новых сортов и перспективных линий эспарцета в условиях юга России // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 12–16. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-12-16.



PRODUCTIVITY OF NEW SAINFOIN VARIETIES AND PROMISING LINES IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA

A. A. Regidin, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;

S. A. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

K. N. Goryunov, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5685-6508

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current paper has presented the study results of promising lines of sainfoin in the competitive variety testing. The purpose of the current study was to estimate the fodder, seed productivity and quality of the fodder mass of promising sainfoin lines for the introduction of the best of them into production and use in breeding. The study was carried out in the fields of the FSBSI "ARC "Donskoy". The objects of study were nine sainfoin varieties and promising lines. The standard was a sainfoin variety 'Veles'. According to the study results, green mass productivity of the lines 'Sin 2/2010', 'Sin 4/2010' and 'Sin 8/95' was 30.1 t/ha, 30.1 t/ha and 30.3 t/ha, or on 7.9 % and 8.6 % higher than that of the standard variety 'Veles' (27.9 t/ha). On average, for 2 cycles, the seed productivity of the studied lines varied from 0.93 t/ha to 1.02 t/ha and was significantly higher than that of the standard variety (0.85 t/ha). On average, during two cycles, the lines 'Sin 3/2010' and 'Sin 3/2004' produced the largest seed yield (1.02 t/ha). The lines 'Sin 13/93' and 'Sin 4/2010', respectively, exceeded dry matter yield of the standard variety 'Veles' on 9.8% and 10.0%, and feed units per 1 ha on 14.6% and 14.8%. The lines 'Sin 3/2010', 'Sin 3/2004' and 'Sin 13/93' are going to be propagated in isolated plots for further study under production conditions.

Keywords: sainfoin, line, productivity, green mass, dry matter, seeds, crude protein.

Введение. Многолетнее бобовое травянистое растение эспарцет является важной и необходимой кормовой культурой во многих регионах России (Косолапов и др., 2015).

По кормовой значимости эспарцет практически не уступает другой распространенной кормовой культуре – люцерне. Среди бобовых кормовых растений по времени созревания и урожайности кормовой массы, наличию в нем сырого протеина, витаминов и других необходимых животным веществ он занимает одно из первых мест (Vasileva, 2019).

Эспарцет нетребователен к почвенным условиям и хорошо произрастает на почвах с малым гумусовым горизонтом, в разной степени эродированных, песчаных, каменистых и вообще на почвах с пониженным плодородием умеренного пояса (Grosse Brinkhaus et al., 2016). Ясно выраженная стержневая корневая система эспарцета способна достигать глубины 1–2 м и позволяет переносить засушливые условия юга России, а наличие клубеньковых азотфиксирующих бактерий на корнях – обогащать почву биологическим азотом (Mora-Ortiz et al., 2016; Huyen et al., 2016).

В южных регионах страны эспарцет имеет большое агротехническое значение как хороший предшественник для озимых и является сидеральной культурой (Галиченко, 2015; Кравцова, 2016; Игнатьев и Регидин, 2019).

Селекционные работы по эспарцету в большей степени направлены на повышение кормовой и семенной продуктивности, в какой-то мере являющимися сдерживающими факторами хозяйственной распространенности культуры. Современные представления задач создания новых кормовых культур ориентируют на выведение сортов трав, экологически адаптированных к конкретным условиям региона их хозяйственного использования, чтобы потенциальная продуктивность и качество корма этих сортов использовались наиболее полно (Косолапов и др., 2021).

Цель исследований – оценка кормовой, семенной продуктивности и качества кормовой массы перспективных линий эспарцета для внедрения лучших из них в производство и использования в селекции.

Материалы и методы исследований.

На полях ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенных в южной зоне Ростовской области, в рамках конкурсного сортоиспытания проводили изучение девяти сортов и перспективных линий эспарцета. Стандарт – сорт эспарцета Велес.

Опыт был заложен согласно «Методическим указаниям по селекции многолетних трав» (1985). Площадь делянки – 20 м², повторность – четырехкратная. Норма высева устанавливалась из расчета 4 млн всхожих семян на гектар. В год закладки опытов проводили уходные мероприятия за посевом. Со второго года жизни вели фенологические наблюдения, биометрические измерения, учет урожая зеленой массы и семян (Методика государствен-

ного сортоиспытания сельскохозяйственных культур, 2019).

Уборку зеленой массы линий эспарцета проводили вручную в фазу начала цветения растений на делянках площадью 2 м².

Уборку семян проводили поделочно комбайном Wintersteiger прямым комбайнированием после обработки посева, при побурении 90–95 % бобов, десикантом Голден Ринг в дозе 3 л/га и расходе раствора 250–300 л/га.

В зеленой массе по ГОСТу 31640-2012 определялось содержание сухого вещества и по ГОСТу 13496.4-2019 – содержание сырого протеина в сухом веществе.

Математическую обработку результатов выполняли с использованием программ Excel и Statistica 10.0.

Вегетация растений эспарцета закладки 2018 г. проходила в условиях недостатка влаги. В весенний период ее выпало 65,5 мм при среднемноголетней норме 131 мм. В летний период осадков было только 55 % от среднемноголетнего количества, что привело к позднему началу осенней вегетации растений. Температурный режим в этот период был напряженным. Среднесуточная температура воздуха за весну превышала среднемноголетнюю на 1,4 °С, а за лето – на 3,0 °С.

За счет осадков, выпавших зимой 2018 г., вегетация растений эспарцета в 2019 г. проходила в благоприятных условиях. В мае среднесуточная температура воздуха была на 2,5 °С выше среднемноголетней за этот месяц, а во второй половине лета отмечался недостаток влаги на фоне температур воздуха на 2,5–4,7 °С выше среднемноголетних. Это привело к началу раннего цветения растений и в дальнейшем к сокращению периода цветения.

В весенний период 2020 г. отмечался недостаток влаги, и только выпавшие в мае 79,9 мм (при норме 51,3 мм) снизили потребность растений во влаге.

Летняя вегетация растений эспарцета проходила также при недостатке увлажнения. Количество летних осадков составило 83 % от их среднемноголетней нормы. Дефицит осадков проходил на фоне высоких среднесуточных температур воздуха – на 0,5–2,4 °С выше среднемноголетних на протяжении всего вегетационного периода.

Для осени и зимы 2020 г. характерен острый недостаток влаги, так как количество выпавших осадков в сентябре составило 6,4 %, в октябре – 42,4 %, в ноябре – 18,4 % и в декабре – 27,6 % от среднемноголетних.

В весенний период 2021 г. отмечалось высокое количество осадков, которое превышало среднемноголетние нормы на 32,2 % в марте, на 124,1 % в апреле и на 26,7 % в мае. Это создало благоприятные условия для дальнейшего роста и развития эспарцета.

Результаты и их обсуждение. Анализ урожайности зеленой массы линий эспарцета показывает, что она была выше в обеих закладках в первый год пользования, чем во вто-

рой. Так, стандарт Велес в первый год (посев 2018 г.) сформировал урожайность зеленой массы 30,4 т/га, а в закладке 2019 г. в первый год – 29,6 т/га. Во второй год учета по закладкам

опыта урожайность стандарта соответственно составляла 24,7 и 26,9 т/га, что на 18,8 и 9,2 % ниже (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зеленой массы сортов и перспективных линий эспарцета (2019–2021 гг.)

Table 1. Green mass productivity of sainfoin varieties and promising lines (2019–2021)

Сорт	Урожайность зеленой массы, т/га				
	посев 2018 г.		посев 2019 г.		средняя за 2 цикла
	2019 г.	2020 г.	2020 г.	2021 г.	
Велес, st.	30,4	24,7	29,6	26,9	27,9
Шурави	29,1	27,9	29,9	28,4	28,8
Атаманский 20	29,6	27,1	30,1	28,7	28,9
Син 15/93	30,8	29,0	30,2	28,7	29,7
Син 2/2010	29,7	29,2	32,1	29,3	30,1
Син 3/2010	28,4	27,5	33,4	28,9	29,6
Син 4/2010	33,0	26,4	32,4	28,5	30,1
Син 5/2000	29,6	24,8	31,5	29,3	28,8
Син 3/2004	29,8	25,8	32,7	28,8	29,3
Син 8/95	32,7	27,6	33,1	27,9	30,3
Средняя	30,3	27,0	31,5	28,5	29,4
НСР ₀₅	2,36	2,03	2,26	2,48	2,24

В закладке опыта посева 2018 г. в первый год урожайность зеленой массы достоверно превысила стандарт линии Син 4/2010 (33,0 т/га) и Син 8/95 (32,7 т/га), во второй год – линии Син 15/93 (29,0 т/га) и Син 2/2010 (29,2 т/га).

В посеве 2019 г. стандарт достоверно превышали в первый год учета Син 2/2010 (32,1 т/га), Син 3/2010 (33,4 т/га), Син 4/2010 (32,4 т/га), Син 3/2004 (32,7 т/га) и Син 8/95 (33,1 т/га). Во второй год учета в этом посеве большая, чем у стандарта, но не существенно, урожайность зеленой массы сформировалась у Син 2/2010 (29,3 т/га) и Син 5/2000 (29,3 т/га).

В среднем за два цикла несущественно большая урожайность зеленой массы получена у линий Син 2/2010 (30,1 т/га), Син 4/2010

(30,1 т/га) и Син 8/95 (30,3 т/га) при урожайности стандарта Велес 27,9 т/га.

Сорта эспарцета Шурави и Атаманский 20 как по годам, так и в среднем за 2 цикла формировали урожайность зеленой массы на уровне стандарта.

Одним из важных показателей кормовых трав является урожайность семян, поскольку от нее в первую очередь зависят развитие кормопроизводства, увеличение посевных площадей и обеспеченность сельхозтоваропроизводителей высококачественными семенами (Найдович и др., 2021).

Высокая урожайность семян изучаемых линий эспарцета получена в 2019 г., она варьировала от 1,20 до 1,49 т/га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность семян сортов и перспективных линий эспарцета (2019–2021 гг.)

Table 2. Seed productivity of sainfoin varieties and promising lines (2019–2021)

Сорт	Урожайность семян, т/га				
	посев 2018 г.		посев 2019 г.		средняя за 2 цикла
	2019 г.	2020 г.	2020 г.	2021 г.	
Велес, st.	1,28	0,68	0,71	0,73	0,85
Шурави	1,25	0,73	0,83	0,84	0,91
Атаманский 20	1,23	0,75	0,86	0,87	0,93
Син 15/93	1,36	0,75	0,99	0,89	1,00
Син 2/2010	1,43	0,73	0,95	0,88	1,00
Син 3/2010	1,49	0,78	0,89	0,91	1,02
Син 4/2010	1,20	0,81	0,90	0,92	0,96
Син 5/2000	1,28	0,86	0,90	0,91	0,99
Син 3/2004	1,41	0,83	0,93	0,89	1,02
Син 8/95	1,33	0,75	0,79	0,85	0,93
Средняя	1,33	0,77	0,88	0,87	0,96
НСР ₀₅	0,12	0,07	0,06	0,05	0,09

Урожайность семян стандарта составляла 1,28 т/га, достоверно его превосходили только

Син 2/2010 и Син 3/2010 с урожайностью соответственно 1,43 и 1,49 т/га.

В остальные годы урожайность семян линий эспарцета была ниже, и практически у всех она была достоверно выше, чем у стандарта Велес. Во всех четырех учетах семян только две линии, Син 3/2010 и Син 3/2004, достоверно превосходили стандарт.

В среднем за два цикла урожайность семян изучаемых линий варьировала от 0,93 до 1,02 т/га и была достоверно выше, чем у стандарта (0,85 т/га). Более высокой урожайностью семян (1,02 т/га) в среднем за два цикла выделялись линии Син 3/2010 и Син 3/2004.

Сорта Шурави и Атаманский 20 в посеве 2018 г. формировали урожайность семян на уровне стандарта Велес, а в посеве 2019 г.

достоверно превосходили стандарт. В среднем за 4 года изучения урожайность семян этих сортов была выше, чем у стандарта, но несущественно.

Основными показателями качества массы растений, определяющими кормовую ценность ее для животных, являются содержание и сбор с единицы площади сухого вещества, сырого протеина и кормовых единиц.

Расчет выхода этих элементов качества кормовой массы стандарта Велес показал, что сбор сухого вещества с 1 га в среднем за два цикла составлял 7,06 т/га, а у изучаемых сортов и линий он варьировал от 7,30 до 7,76 т/га, что было на 3,4–10,0 % выше, чем у стандарта (рис. 1).

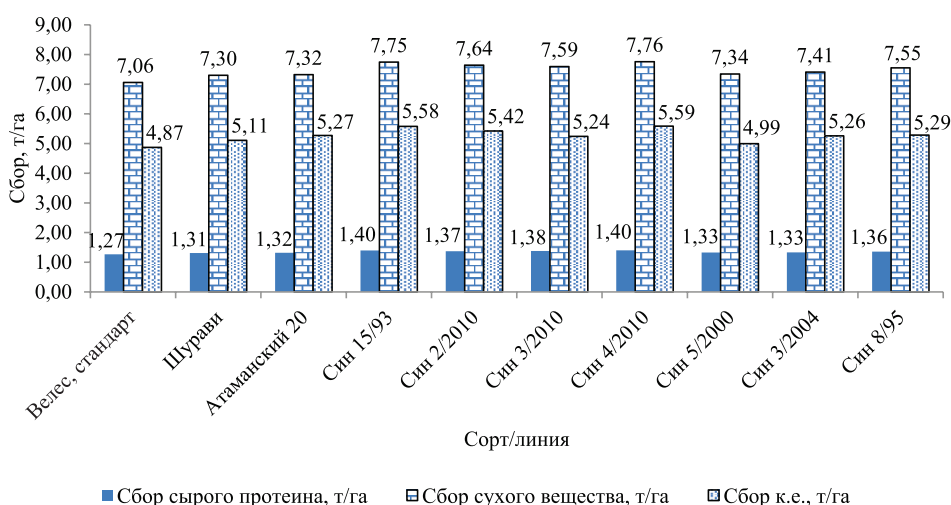


Рис. 1. Основные показатели качества кормовой массы сортов и перспективных линий эспарцета (2019–2021 гг.)

Fig. 1. The main indicators of feed mass quality of the sainfoin varieties and promising lines (2019–2021)

Более высоким сбором сухого вещества выделились Син 15/93 (7,75 т/га) и Син 4/2010 (7,76 т/га). Они превосходили стандарт соответственно на 9,8 и 10,0 %.

Выход с 1 га кормовых единиц у линий эспарцета варьировал от 4,99 до 5,59 т/га, при выходе у стандарта Велес – 4,87 т/га. Лучшими линиями по этому показателю также были Син 15/93 (5,58 т/га) и Син 4/2010 (5,59 т/га). Превышение над стандартом составляло 14,6 и 14,8 % соответственно.

По важнейшему показателю качества корма – сбору сырого протеина тоже выделились Син 15/93 и Син 4/2010, обеспечив сбор сырого протеина в 1,40 т/га, или на 10,2 % выше стандарта Велес (1,27 т/га).

Выводы. По результатам исследований урожайность зеленой массы линий Син 2/2010, Син 4/2010 и Син 8/95 составила 30,1, 30,1 и 30,3 т/га соответственно, или на 7,9 и 8,6 % выше, чем у стандарта Велес (27,9 т/га).

Потенциально семенная продуктивность изучаемых линий эспарцета высокая и составляет 1,20–1,49 т/га. В среднем же за 4 года урожайность семян лучших линий Син 3/2010 и Син 3/2004 составила 1,02 т/га при урожайности семян стандарта Велес 0,85 т/га.

Важнейшими показателями качества корма среди изучаемых линий выделились Син 15/93 и Син 4/2010, которые по сбору сухого вещества за годы их изучения превышали стандарт Велес соответственно на 9,8 и 10,0 %, выходу кормовых единиц с 1 га – на 14,6 и 14,8 %, сбору сырого протеина – на 10,2 %.

Линии Син 4/2010, Син 3/2010 могут быть, после дополнительного изучения, переданы на Государственное сортоиспытание, а линии Син 2/2010, Син 8/95, Син 15/93 – использованы для создания новых адаптированных сортов эспарцета.

Библиографические ссылки

1. Галиченко И. И. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественников // Зерновое хозяйство России. 2015. № 2(38). С. 3–5.
2. Игнатьев С. А., Регидин А. А. Кормовая продуктивность и ценность как предшественника нового сорта эспарцета Шурави // Зерновое хозяйство России. 2019. № 4(64). С. 27–30. DOI 10.31367/2079-8725-2019-64-4-27-30.

3. Косолапов В.М., Чернявских В.И., Костенко С.И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. Т. 25, № 4. 2021. С. 401–407. DOI 10.18699/vj21.044.
4. Косолапов В.М., Шамсутдинов З.Ш., Ившин Г.И. и др. Основные виды и сорта кормовых культур (итоги научной деятельности Центрального селекционного центра) // Монография. М.: Наука, 2015. 545 с.
5. Кравцова Е.В. Влияние сидератов на продуктивность зерновых культур в условиях южной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2016. № 4 (46). С. 57–60.
6. Найдович В.А., Попова Т.Н., Кузнецова П.А., Козорез А.И. Селекция и семеноводство многолетних трав: прошлое и современное состояние // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 41–44. DOI: 10.28983/asj.y2021i12pp41-44.
7. Grosse Brinkhaus A., Bee G., Silacci P., Kreuzer M., Dohme-Meier F. Effect of exchanging *Onobrychis viciifolia* and *Lotus corniculatus* for *Medicago sativa* on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99(6), P. 4384–4397. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-991>.
8. Huyen N.T., Desrues O., Alferink S.J.J., Zandstra T., Verstegen M.W.A., Hendriks W.H., Pellikaan W.F. Inclusion of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) silage in dairy cow rations affects nutrient digestibility, nitrogen utilization, energy balance, and methane emissions // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99(5), P. 3566–3577. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10583>.
9. Mora-Ortiz M., Swain M.T., Vickers M.J., Hegarty M.J., Kelly R., Smith L.M.J., Skøt L. De-novo transcriptome assembly for gene identification, analysis, annotation, and molecular marker discovery in *Onobrychis viciifolia* // BMC Genomics 2016. Vol. 17(1), Article number 756. DOI: 10.1186/s12864-016-3083-6.
10. Vasileva V., Naydenova Y., Stoycheva I. Nutritive value of forage biomass from sainfoin mixtures // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26(5), P. 942–949. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.012>.

References

1. Galichenko I.I. Urozhaivnost' ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov [Winter wheat productivity depending on forecrops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2015. № 2(38). S. 3–5.
2. Ignat'ev S.A., Regidin A.A. Kormovaya produktivnost' i tsennost' kak predshestvennika novogo sorta espartseta Shuravi [Feed productivity and value of a new sainfoin variety 'Shuravi' as a forecrop] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 4(64). S. 27–30. DOI 10.31367/2079-8725-2019-64-4-27-30.
3. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I., Kostenko S.I. Razvitie sovremennoi selektsii i semenovodstva kormovykh kul'tur v Rossii [Development of current breeding and seed production of fodder crops in Russia] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. T. 25, № 4. 2021. S. 401–407. DOI: 10.18699/vj21.044.
4. Kosolapov V.M., Shamsutdinov Z.Sh., Ivshin G.I. i dr. Osnovnye vidy i sorta kormovykh kul'tur (itogi nauchnoi deyatel'nosti Tsentral'nogo selektsionnogo tsentra) [Main types and varieties of fodder crops (results of research activities of the Central Breeding Center)] // Monografiya. M.: Nauka, 2015. 545 s.
5. Kravtsova E.V. Vliyanie sideratov na produktivnost' zernovykh kul'tur v usloviyakh yuzhnoi zony Rostovskoi oblasti [The effect of green manure on productivity of grain crops in the conditions of the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 4 (46). S. 57–60.
6. Naidovich V.A., Popova T.N., Kuznetsova P.A., Kozorez A.I. Seleksiya i semenovodstvo mnogoletnikh trav: proshloe i sovremennoe sostoyanie [Breeding and seed production of perennial grasses: past and present] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2021. № 12. S. 41–44. DOI: 10.28983/asj.y2021i12pp41-44.
7. Grosse Brinkhaus A., Bee G., Silacci P., Kreuzer M., Dohme-Meier F. Effect of exchanging *Onobrychis viciifolia* and *Lotus corniculatus* for *Medicago sativa* on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99(6), P. 4384–4397. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-991>.
8. Huyen N.T., Desrues O., Alferink S.J.J., Zandstra T., Verstegen M.W.A., Hendriks W.H., Pellikaan W.F. Inclusion of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) silage in dairy cow rations affects nutrient digestibility, nitrogen utilization, energy balance, and methane emissions // Journal of Dairy Science. 2016. Vol. 99(5), P. 3566–3577. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10583>.
9. Mora-Ortiz M., Swain M.T., Vickers M.J., Hegarty M.J., Kelly R., Smith L.M.J., Skøt L. De-novo transcriptome assembly for gene identification, analysis, annotation, and molecular marker discovery in *Onobrychis viciifolia* // BMC Genomics 2016. Vol. 17(1), Article number 756. DOI: 10.1186/s12864-016-3083-6.
10. Vasileva V., Naydenova Y., Stoycheva I. Nutritive value of forage biomass from sainfoin mixtures // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 26(5), P. 942–949. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.03.012>.

Поступила: 13.01.22; доработана после рецензирования: 23.01.23; принята к публикации: 01.02.23.

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. Регидин А.А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Игнат'ев С.А. – концептуализация исследования, подготовка рукописи; Кравченко Н.С. – биохимический анализ; Горюнов К. Н – проведение полевого опыта.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. Н. Громова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, LavrvaSVN@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8627-279X;

О. В. Скрипка, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа, ORCID ID: 0000-0002-6183-8312;

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

А. П. Самофалов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа, ORCID ID: 0000-0002-1709-2808;

В. Л. Чернова, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа, ORCID ID: 0000-0002-0451-2711

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Исследования проводили в 2019–2021 гг. с использованием материально-технической базы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Цель – изучение образцов озимой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения по урожайности и некоторым хозяйственно ценным признакам для выявления наиболее приспособленных из них для условий южной зоны Ростовской области. В качестве объекта исследований были взяты 17 образцов озимой мягкой пшеницы экологического сортоиспытания. Сорт Ермак использовали в качестве стандарта. В результате исследований установлено, что урожайность образцов (2019–2021 гг.) варьировала от 7,75 (Этана) до 9,52 т/га (MV 15-04). Достоверно стандартный сорт Ермак (8,20 т/га) превысили 9 образцов: Ахмат, МОНЭ, КИБ – 6, Астарта, Slavna, Чорнява, ХЕ 9710, MV 15-04, № 71 СИММУТ, прибавки составили от 0,45 до 1,32 т/га (НСР₀₅ – 0,42 т/га). По «дате колошения» к среднеранней группе спелости относились КИБ-6, Slavna, Чорнява, № 71 СИММУТ (19-20 мая); к среднепоздней – Ахмат, МОНЭ (21–22 мая) и к поздней – Астарта, ХЕ 9710, MV 15-04 (23–24 мая). По высоте растений варьирование составило от 81,5 (Ахмат) до 100,3 см (ХЕ 9710), у стандарта Ермак – 99,5 см. Все изучаемые образцы по массе 1000 зерен относились к среднекрупным (34,05–40,72 г). За годы изучения устойчивость к мучнистой росе (поражение в полевых условиях) проявил образец № 71 СИММУТ (0 баллов). Выделены лучшие образцы по устойчивости к септориозу – это КИБ-6 (Россия) и Астарта (Украина), степень поражения которых составила 5–10 %. У стандарта Ермак – 30–40 %. Поражение желтой ржавчиной в полевых условиях у стандарта Ермак было 50–60 %, у образца № 71 СИММУТ – 20–30 %, у МОНЭ – 5–10 %, у КИБ-6 – 0–5 %, остальные образцы (Астарта, Slavna, Чорнява, ХЕ 9710, MV 15-04) были устойчивы к этому патогену. По комплексу хозяйственно ценных признаков для практической селекции в условиях юга Ростовской области наибольший интерес представляют три сорта озимой мягкой пшеницы: КИБ-6 (Россия); Астарта, Slavna (Украина).

Ключевые слова: озимая пшеница, урожайность, высота растений, масса 1000 зерен, дата колошения, мучнистая роса, септориоз, желтая ржавчина, корреляции.

Для цитирования: 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. Т. 15, № 1. С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-17-22.



ENVIRONMENTAL TESTING OF WINTER BREAD WHEAT VARIETIES AND LINES IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN PART OF THE ROSTOV REGION

S. N. Gromova, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher, LavrvaSVN@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8627-279X;

O. V. Skripka, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for the breeding and seed production of winter common wheat of intensive type, ORCID ID: 0000-0002-6183-8312;

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

A. P. Samofalov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of intensive type, ORCID ID: 0000-0002-1709-2808;

V. L. Chernova, agronomist of the laboratory for breeding and seed production of winter common wheat of intensive type, ORCID ID: 0000-0002-0451-2711

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current study was carried out in 2019–2021 using the material and technical base of the FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”, in order to research winter bread wheat samples of various ecological and geographical origin according to productivity and some economically valuable traits, to identify the most adapted of them for the conditions of the southern part of the Rostov region. The objects of the study were 17 winter bread wheat samples of ecological variety testing. The variety ‘Ermak’ was used as a standard. As a result of the study, there was found that the productivity of the samples (2019–2021) ranged from 7.75 (‘Etana’) to 9.52 t/ha (‘MV 15-04’). The standard variety ‘Ermak’ (8.20 t/ha) was exceeded by 9 samples ‘Akhmat’, ‘MONE’, ‘KIV – 6’, ‘Astarta’, ‘Slavna’, ‘Chornyava’, ‘XE 9710’, ‘MV 15-04’, ‘No. 71 CIMMYT’, the increase was from 0.45 to 1.32 t/ha (0.42 t/ha with HCP05). According to ‘heading date’, the samples ‘KIV-6’, ‘Slavna’, ‘Chornyava’, ‘No. 71 CIMMYT’ (May 19–20) belonged to the middle-early maturing group; the samples ‘Akhmat’, ‘MONE’ (May 21–22) belonged to the middle-late maturing group; the samples Astarta, XE 9710, MV 15-04 (May 23–24) belonged to the late maturing group. According to ‘plant height’, the variation ranged from 81.5 cm (‘Akhmat’) to 100.3 cm (‘XE 9710’), the standard ‘Ermak’ had 99.5 cm. All studied samples belonged to a medium-large-grain-sized group (34.05–40.72 g) according to ‘1000-grain weight’. Through the years of study, the sample ‘No. 71 CIMMYT’ showed 0 points of powdery mildew resistance (defeat in the field). There have been identified the best septoria blight resistant samples ‘KIV-6’ (Russia) and ‘Astarta’ (Ukraine), with a damage degree of 5–10 %. The standard variety ‘Ermak’ had 30–40 %. As for yellow rust, the standard variety ‘Ermak’ was damaged on 50–60 %, the sample ‘No. 71 CIMMYT’ was damaged on 20–30 %; the sample ‘MONE’ on 5–10 %; the sample ‘KIV-6’ was damaged on 0–5 %; the remaining samples ‘Astarta’, ‘Slavna’, ‘Chornyava’, ‘XE 9710’ and ‘MV 15-04’ were resistant to this pathogen. According to the complex of economically valuable traits for practical breeding in the conditions of the south of the Rostov region, three winter bread wheat varieties ‘KIV-6’ (Russia), ‘Astarta’, ‘Slavna’ (Ukraine) have been of the greatest interest.

Keywords: winter wheat, productivity, plant height, 1000-grain weight, heading date, powdery mildew, leaf blotch, yellow rust, correlations.

Введение. Озимая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) входит в тройку основных зерновых культур и является главной для рациона человека (хлебопекарная, кондитерская, крупяная и макаронная промышленность). Из-за неуклонного роста населения в мире спрос на продовольственные товары возрастает, что приводит к необходимости активизировать сельскохозяйственное производство. Поэтому главная задача селекции – создание сортов, сочетающих высокоурожайный потенциал и адаптацию к условиям выращивания (Филиппов и др., 2015; Skripka et al., 2021). Успешная селекционная программа выращивания сортов пшеницы требует генетического разнообразия. Это важно для достижения различных селекционных целей (более высокая урожайность, широкая адаптация, хорошее качество, устойчивость к вредителям и болезням и т. д.) (Рыбась, 2016; Каменева и др., 2019; Захарова и др., 2020).

Цель исследований – оценить образцы озимой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения по урожайности и некоторым хозяйственно ценным признакам для выявления наиболее приспособленных из них к условиям южной зоны Ростовской области.

Материалы и методы исследований. В качестве экспериментального материала были взяты 17 образцов озимой мягкой пшеницы разного эколого-географического происхождения (питомник экологического сортоиспытания). Сорт Ермак использовали в качестве стандарта.

В течение 2019–2021 гг. в лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы проводили исследования на полях ФГБНУ «АНЦ «Донской» по интенсивной технологии возделывания, предусматривающей интегрированную систему удобрения и защиты. Предшественником был сидеральный пар. Посев проводили в шестикратной повторно-

сти с 5 деланки 10 м² и нормой посева 450 млн всхожих семян на 1 га.

Закладка опытов, фенологические наблюдения, полевые учеты и оценки проводили согласно Методике государственного испытания (2019) и методике полевого опыта Б.А. Доспехова (2014). Степень поражения образцов желтой ржавчиной и септориозом в естественных условиях оценивали по методике Э.Э. Гешеле (1978), мучнистой росой – по методике С.И. Ригиной и др. (1974). Дифференциацию по дате колошения, массе 1000 зерен и высоте растений проводили по Международному классификатору СЭВ (1983).

Математический и статистический анализ экспериментальных данных проводили по Б.А. Доспехову (2014) и с помощью компьютерных программ «Microsoft Excel 2010», «Statistica 10».

2019 г. характеризовался повышенным температурным режимом и неравномерным распределением осадков в течение года. Среднесуточная температура воздуха составила 11,5 °C (+1,8 °C к среднемноголетней). Осадки выпадали неравномерно по сезонам и месяцам, а их сумма была ниже среднемноголетних показателей – 521,4 мм (89,5 %). Уборку начали раньше среднемноголетних сроков. Этому способствовала чрезвычайно жаркая и сухая погода в течение большей части июня. Негативное воздействие атмосферной и почвенной засухи привело к образованию щуплого зерна.

2020 г. по количеству осадков (463,7 мм при норме 582,4 мм), их распределению по сезонам, температурному режиму (+1,6 °C к среднемноголетней) оказался нетипичным для нашей зоны и не совсем благоприятным для роста и развития озимой пшеницы, особенно в весенний период. Уборка озимой пшеницы в текущем году была проведена с 28 июня по 12 июля. Но за счет накопившихся осадков в зимний период этот год стал благоприятным для формирования хорошего урожая озимых культур.

2021 г. отмечался повышенным температурным режимом и неравномерным распределением осадков. Среднегодовая температура воздуха составила 11,7 °С, превысив многолетнюю на 2,0 °С. За сельскохозяйственный год выпало 569,2 мм осадков (97,7 % от среднелетней нормы). Уборка в селекционных питомниках была проведена с 4 по 21 июля. В целом сложившиеся погодные условия по-

зволили получить достаточно неплохую урожайность в питомниках сортоиспытания по сидеральному пару.

Результаты и их обсуждение. Урожайность сортов и линий озимой мягкой пшеницы в экологическом сортоиспытании за годы исследований в среднем варьировала от 7,75 у сорта Этана до 9,52 т/га у линии MV 15-04 (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность образцов озимой мягкой пшеницы экологического сортоиспытания (2019–2021 гг.)

Table 1. Productivity of winter bread wheat samples of ecological variety testing (2019–2021)

Сорта и линии	Происхождение (страна)	Урожайность, т/га	± к Ермаку, стандарт	V, %
Ермак, стандарт	Россия	8,20	–	26
Алексеич		8,18	–0,02	23
Герда		8,41	0,21	20
Еланчик		8,53	0,33	27
Ахмат		8,67	0,47	18
МОНЭ		8,73	0,53	21
КИВ-6		9,33	1,13	26
Княгиня Ольга	Россия и Украина	8,61	0,41	14
Шестопаловка	Украина	8,61	0,41	29
Астарт		8,71	0,51	19
Slavna		8,96	0,76	24
Чорнява		9,46	1,26	26
СО 911	Франция	8,03	–0,17	11
ХЕ 9710		9,11	0,91	13
Этана	Германия	7,75	–0,45	7
MV 15-04	Венгрия	9,52	1,32	20
№ 71 СИММУТ	Румыния	8,95	0,75	21
Среднее по опыту		8,69	–	–
НСР ₀₅		0,42	–	–

Достоверное превышение над стандартом Ермак (8,20 т/га) в среднем за три года показали 9 сортов и линий: Ахмат, МОНЭ, КИВ-6, Астарт, Slavna, Чорнява, ХЕ 9710, MV 15-04, № 71 СИММУТ. Прибавки составили от 0,45 до 1,32 т/га при НСР₀₅ 0,42 т/га. Максимальную урожайность сформировали образцы MV 15-04 (Венгрия) – 9,52 т/га и Чорнява (Украина) – 9,46 т/га. Наименьшее значение данного признака было у сорта Этана (Германия) – 7,75 т/га. В среднем по опыту за 2019–2021 гг. урожайность составила 8,69 т/га.

В 2019 г. (отмечался повышенным температурным режимом и недостаточным количеством осадков) была самая низкая урожайность в среднем по опыту – 6,91 т/га. Наибольшую урожайность сформировал сорт ХЕ 9710 – 7,80 т/га. В 2020/2021 сельскохозяйственном году сорта и линии озимой мягкой пшеницы сформировали наибольшую урожайность (средняя по опыту – 10,40 т/га), максимальной урожайностью отличался сорт Чорнява – 12,00 т/га. В 2021 г. средняя урожайность по опыту составила 8,77 т/га, а наибольшая урожайность была у сорта КИВ-6 – 9,74 т/га.

Полученные коэффициенты вариации за годы исследований свидетельствуют о том, что у сорта Этана (V = 7 %) изменчивость признака «урожай-

ность» была слабой. У образцов Еланчик, КИВ-6, Шестопаловка, Чорнява изменчивость признака считалась высокой (V > 25 %), остальные образцы имели промежуточные значения.

Адаптивность сортов озимой мягкой пшеницы обуславливается комплексом хозяйственно-биологических признаков и свойств. Продолжительность вегетационного периода характеризует не только урожайность сорта, но и его приспособленность к засухе, болезням и другим стрессовым факторам. Существует общая закономерность: с увеличением продолжительности вегетационного периода в благоприятных условиях потенциал продуктивности генотипов возрастает. По определению спелости растений озимой пшеницы в условиях юга Ростовской области наиболее точным критерием является фаза «колошение», чем «созревание» (Косолапов и др., 2021).

В нашей зоне наступление восковой и полной спелости приходится на конец июня – начало июля: самый пик высоких температур и суховейных ветров, поэтому определить точную дату полного созревания не всегда получается (Skripka et al., 2021).

Колошение стандарта Ермак за 2019–2021 гг. приходилось в среднем на 18 мая – среднеранний сорт (табл. 2).

Таблица 2. Хозяйственно-биологическая характеристика выделившихся образцов озимой мягкой пшеницы по урожайности в экологическом сортоиспытании (2019–2021 гг.)
Table 2. Economic and biological characteristics of the identified winter bread wheat samples according to productivity in ecological variety testing (2019–2021)

Сорта и линии	Дата колошения	Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г	Поражение в полевых условиях			Морозостойкость, %
				мучнистой росой, балл	септориозом, %	желтой ржавчиной, %*	
Ермак, стандарт	18V	99,5	39,74	2,0	30–40	50–60	68,1
Ахмат	21V	81,5	35,04	1,0	15–20	0	72,3
МОНЭ	22V	84,5	34,05	1,0	10–15	5–10	69,4
КИВ-6	19V	90,6	36,11	1,0	5–10	0–5	74,8
Астарт	23V	94,0	39,08	1,0	5–10	0	75,8
Slavna	20V	90,1	37,38	1,0	10–15	0	77,4
Чорнява	19V	89,0	35,55	1,0	15–20	0	76,6
ХЕ 9710	24V	100,3	40,72	1,0	10–15	0	60,2
MV 15-04	24V	96,4	34,53	1,0	20–30	0	76,8
№ 71 CIMMYT	20V	95,9	34,61	0,0	30–40	20–30	67,9
НСП ₀₅	2,0	3,3	3,27	–	–	–	3,7

Примечание. * – данные за 2021 год.

По дате колошения к среднеранней группе спелости относились образцы КИВ-6, Slavna, Чорнява, № 71 CIMMYT (19–20 мая); к среднепоздней – Ахмат, МОНЭ (21–22 мая) и к поздней – Астарт, ХЕ 9710, MV 15-04 (23–24 мая).

Высота пшеницы является важным признаком, влияющим на производственные процессы (Захарова и др., 2020). По высоте растений варьирование составило от 81,5 (Ахмат) до 100,3 см (ХЕ 9710), у стандарта Ермак – 99,5 см. Ахмат, МОНЭ, КИВ-6, Астарт, Slavna, Чорнява относились к среднерослым образцам (81,5–94,0 см), а ХЕ 9710, MV 15-04, № 71 CIMMYT – к средневысоким (95,9–100,3 см).

Все изучаемые образцы по массе 1000 зерен относились к среднекрупным (34,05–40,72 г). Наибольшее значение данного признака было у образца ХЕ 9710 – 40,72 г.

Важным свойством комплексной адаптивности сортов является их устойчивость к биотическим факторам произрастания. Мучнистая роса (возбудитель *Blumeria graminis*) – одно из самых распространенных и вредоносных грибных заболеваний зерновых культур. Для патогена характерно дифференциальное взаимодействие с генотипами растений-хозяев. Наиболее рациональный, дешевый и экологически безопасный способ борьбы с мучнистой росой – возделывание сортов злаковых культур, защищенных разными генами устойчивости (Радченко и др., 2020).

За годы изучения устойчивость к мучнистой росе (поражение в полевых условиях) проявил образец № 71 CIMMYT (0 баллов). Остальные образцы озимой мягкой пшеницы, кроме стандартного сорта Ермак (2,0 балла), в слабой степени поражаются этим патогеном.

Из всего набора изучаемых образцов были выделены лучшие по устойчивости к септориозу. Это два сорта – КИВ-6 (Россия) и Астарт (Украина), степень поражения которых составила 5–10 %. У стандарта Ермак – 30–40 %.

Как показывают исследования, абсолютной устойчивостью к желтой ржавчине обладали образцы озимой мягкой пшеницы Астарт, Slavna, Чорнява, ХЕ 9710, MV 15-04. Поражение желтой ржавчиной в полевых условиях у стандартного сорта Ермак составило 50–60 %, у образца № 71 CIMMYT – 20–30 %, у МОНЭ – 5–10 %, у КИВ-6 – 0–5 %.

Перезимовка озимых зерновых культур зависит от некоторых факторов, в том числе от агрометеорологических условий, сложившихся в зимний период. Погодно-климатические условия в 2019–2022 гг. были благоприятные для перезимовки, и гибели исследуемых сортов в поле не наблюдалось. Все образцы имели оценку перезимовки 5 баллов.

По результатам трехлетнего изучения сортов озимой мягкой пшеницы выделены образцы, обладающие высокой морозостойкостью (72,3–76,8 %): Ахмат, КИВ-6, Астарт, Slavna, Чорнява и № 71 CIMMYT.

В результате проведенного корреляционного анализа установлено, что урожайность имеет отрицательные связи средней силы с массой 1000 зерен ($r = -0,36$, $p < 0,05$), с поражением мучнистой росой и желтой ржавчиной ($r = -0,43$, $p < 0,05$ и $r = -0,64$, $p < 0,05$) (табл. 3).

Не выявлено достоверных связей между урожайностью и высотой растений ($r = 0,01$, $p < 0,05$). При анализе коэффициентов корреляции между признаками озимой пшеницы была установлена сильная положительная взаимосвязь между поражением септориозом и желтой ржавчиной ($r = 0,77$, $p < 0,05$) и средняя отрицательная взаимосвязь между датой колошения и поражением желтой ржавчиной ($r = -0,55$, $p < 0,05$); средние положительные связи между массой 1000 зерен и высотой растений ($r = 0,62$, $p < 0,05$) и поражением мучнистой росой ($r = 0,50$, $p < 0,05$). Также выявлены средние положительные связи высоты растений с поражением септориозом и желтой ржавчиной ($r = 0,43$, $p < 0,05$ и $r = 0,42$, $p < 0,05$).

Таблица 3. Коэффициенты корреляций между урожайностью и другими признаками образцов озимой мягкой пшеницы (2019–2021 гг.)
Table 3. Correlation coefficients between productivity and other traits of winter bread wheat samples (2019–2021)

Признак	Урожайность, т/га	Дата колошения, май	Высота растений, см	Масса 1000 зерен, г	Поражение мучнистой росой, балл	Поражение септориозом, %	Поражение желтой ржавчиной, %
Урожайность, т/га	1,00						
Дата колошения, май	0,25	1,00					
Высота растений, см	0,01	0,16	1,00				
Масса 1000 зерен, г	–0,36	0,07	0,62	1,00			
Поражение мучнистой росой, балл	–0,43	–0,22	0,14	0,50	1,00		
Поражение септориозом, %	–0,26	–0,30	0,43	–0,12	0,01	1,00	
Поражение желтой ржавчиной, %	–0,64	–0,55	0,42	0,22	0,36	0,77	1,00

Выводы.

1. Экологическое испытание образцов озимой мягкой пшеницы в 2019–2021 гг. позволило выявить существенное различие по их урожайности. Достоверно превысили стандарт Ермак (8,20 т/га) 9 образцов: Ахмат, МОНЭ, КИВ-6 – Россия; Астарт, Slavna, Чорнява – Украина; ХЕ 9710 – Франция; MV 15-04 – Венгрия;

№ 71 СИММЫТ – Румыния, прибавки составили от 0,45 до 1,32 т/га, при $HCP_{05} = 0,42$ т/га.

2. Три сорта озимой мягкой пшеницы – КИВ-6 (Россия), Астарт, Slavna (Украина) с комплексом хозяйственно ценных признаков представляют наибольший интерес для практической селекции в условиях Ростовской области.

Библиографические ссылки

- Гешеле Э. Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. М.: Колос, 1978. 206 с.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп., стереотип изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.
- Захарова Н. Н., Захаров Н. Г., Гаранин М. Н. Высота растений озимой мягкой пшеницы в связи с ее урожайностью и устойчивостью к полеганию в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1 (49). С. 51–59. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-1-51-59.
- Каменева А. С., Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Макарова Т. С., Дубинина О. А., Костыленко О. А., Олдырева И. М. Оценка сортов различного экологического происхождения по основным признакам и свойствам // Зерновое хозяйство России. 2019. № 2(62). С. 52–57. DOI: 10.31367/2079-2079-8725-2019-62-2-52-57.
- Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 4. С. 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044.
- Международный классификатор СЭВ. Ленинград: ВИР, 1983. 52 с.
- Радченко Е. Е., Абдуллаев Р. А., Анисимова И. Н. Генетическое разнообразие зерновых культур по устойчивости к мучнистой росе // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 1. С. 59–78. DOI: 10.17816/ecogen14530.
- Ригина С. И., Одинцова И. Г. Генетика и селекция болезнеустойчивых сортов культурных растений. М.: Наука, 1974. 271 с.
- Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.
- Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Донцов Д. П. Параметры модельных сортов ярового ячменя // Зерновое хозяйство России. 2015. № 5. С. 33–36.
- Skripka O. V., Podgorny S. V., Samofalov A. P., Chernova V. L., Gromova S. N. Vegetation period effect on winter bread wheat varieties productivity // IOP conference Series: Earth and Environmental Science 8. 2021. Vol. 843, Article number 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012012

References

- Geshele E. E. Osnovy fitopatologicheskoi otsenki v selektsii rastenii [Fundamentals of phytopathological estimation in plant breeding]. M.: Kolos, 1978. 206 s.
- Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5 izdanie, pererab. i dopol., stereotip izd. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
- Zakharova N. N., Zakharov N. G., Garanin M. N. Vysota rastenii ozimoi myagkoi pshenitsy v svyazi s ee urozhainost'yu i ustoychivost'yu k poлегaniyu v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Correlation between plant height of winter bread wheat and its productivity and lodging resistance in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2020. № 1 (49). S. 51–59. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-1-51-59.
- Kameneva A. S., Samofalova N. E., Ilichkina N. P., Makarova T. S., Dubinina O. A., Kostylenko O. A., Oldyreva I. M. Otsenka sortov razlichnogo ekologicheskogo proiskhozhdeniya po osnovnym priznakam

- I svoistvam [Estimation of varieties of different ecological origin according to the main traits and properties] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2019. № 2(62). S. 52–57. DOI: 10.31367/2079-2079-8725-2019-62-2-52-57.
5. Kosolapov V. M., Chernyavskikh V. I., Kostenko S. I. Razvitie sovremennoi selektsii i semenovodstva kormovykh kul'tur v Rossii [Development of modern breeding and seed production of forage crops in Russia] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2021. T. 25, № 4. S. 401–407. DOI: 10.18699/VJ21.044.
6. Mezhdunarodnyi klassifikator SEV [International classifier COMECON]. Leningrad: VIR, 1983. 52 s.
7. Radchenko E. E., Abdullaev R. A., Anisimova I. N. Geneticheskoe raznoobrazie zernovykh kul'tur po ustoychivosti k muchnistoi rose [Genetic diversity of grain crops according to resistance to powdery mildew] // *Ekologicheskaya genetika*. 2020. T. 18, № 1. S. 59–78. DOI: 10.17816/ecogen14530.
8. Rigina S. I., Odintsova I. G. Muchnistaya rosa zlakov. Genetika i selektsiya bolezneustoychivyykh sortov kul'turnykh rastenii [Powdery mildew of cereals. Genetics and breeding of disease-resistant varieties]. M.: Nauka, 1974. 271 s.
9. Rybas' I. A. Povyshenie adaptivnosti v selektsii zernovykh kul'tur (obzor) [Adaptability improvement in grain crop breeding (review)] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2016. T. 51, № 5. S. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.
10. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Parametry model'nykh sortov yarovogo yachmenya [Parameters of model spring barley varieties] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2015. № 5. S. 33–36.
11. Skripka O. V., Podgorny S. V., Samofalov A. P., Chernova V. L., Gromova S. N. Vegetation period effect on winter bread wheat varieties productivity // *IOP conference Series: Earth and Environmental Science* 8. 2021. Vol. 843, Article number 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012012.

Поступила: 16.11.22; доработана после рецензирования: 31.01.22; принята к публикации: 02.02.22.

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. Громова С. Н. – концептуализация исследования, подготовка опыта, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Скрипка О. В., Подгорный С. В., Самофалов А. П., Чернова В. Л. – проведение полевых опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗЕРНА СОРТОВ ПЛЕНЧАТОГО И ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Е. Н. Шаболкина, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории технолого-аналитического сервиса, elenashabolkina@yandex.ru; ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
С. Н. Шевченко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, директор СамНЦ РАН, samniish@mail.ru; ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;
Н. В. Анисимкина, старший научный сотрудник лаборатории технолого-аналитического сервиса, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова, 446254, Самарская обл., п. Безенчук, ул. Карла Маркса, 41; e-mail: samniish@mail.ru

Для эффективного использования сортов ячменя по назначению – продовольственный, кормовой и пивоваренный необходимо объективное и углубленное изучение качества зерна с корректировкой на особенности голозерных сортов. Цель исследований – оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя, определение взаимосвязи между показателями качества. На экспериментальной базе Самарского НИИСХ в течение 2019–2021 гг. изучали показатели качества зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя из конкурсного сортоиспытания. Установлена высокобелковая группа сортов: Орлан, Безенчукский 2, Лунь, Стрелецкий голозерный и Омский голозерный 1 с содержанием белка 14,9–16,8 %. Наибольшая масса 1000 зерен (43,7–44,1 г) и низкая активность α -амилазы в зерне («число падения» 352–421 с) за годы исследований отмечена у пленчатых сортов ячменя данной группы. Сорта ячменя с такими признаками качества могут быть широко востребованы в пищевой промышленности и кормопроизводстве. Отмечено, что голозерные сорта ячменя с высоким содержанием белка (16,8 %), отсутствием пленок и низкой амилолитической активностью (471 с) в случае адаптации к условиям произрастания улучшат не только качество круп, зернофуража, но и могут быть использованы в хлебопекарных целях. При обобщении результатов корреляционного анализа установлено следующее: взаимосвязь показателя белковости зерна с другими признаками качества отмечена лишь в острозасушливых условиях 2021 г.; пленчатость зерна тесно коррелировала обратной зависимостью с натурой зерна (–0,94**; –0,64*; –0,84**) во все годы исследований; «число падения» в 2019 г. несколько слабее было сопряжено с массой 1000 зерен (0,60*) и натурой (0,61*); с пленчатостью зерна отрицательно коррелировало и в 2019 и в 2020 годах (–0,65*; –0,82**).

Ключевые слова: ячмень пленчатый и голозерный, белок, крахмал, пленчатость, натура, масса 1000 зерен, «число падения».

Для цитирования: Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Анисимкина Н. В. Оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-23-28.



ESTIMATION OF BIOCHEMICAL AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF GRAIN OF HULLED AND HULLES BARLEY VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE MIDDLE VOLGA REGION

E. N. Shabolkina, Candidate of Agricultural Sciences, head 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 SamRC RAS, samniish@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;
N. V. Anisimkina, senior researcher of the laboratory for technical and analytical service, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Samarsky Federal Research Center RAS,
amarsky Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaykov,
446254, Samara region, V. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: samniish@mail.ru

In order to use efficiently barley varieties for such purposes as food, fodder and brewing, an objective and thorough study of grain quality is of great necessity, with adjustment for the features of hulles varieties. The purpose of the current study was to estimate the biochemical and technological indicators of grain varieties of hulled and hulles barley, to determine the correlation between quality indicators. On the experimental basis of the Samara Research Institute of Agriculture, there were studied grain quality indicators of hulled and hulles barley varieties of the Competitive Variety Testing in 2019–2021. There has been established a high-protein group of varieties, such as 'Orlan', 'Bezenchuksky 2', 'Lun', 'Streletsky golozerny' and 'Omsky golozerny 1' with 14.9–16.8 % of protein. The largest '1000-grain weight' (43.7–44.1 g) and low activity of α -amylase in grain (352–421 c of 'falling number') over the years of study was established among the hulled barley varieties of this group. Barley varieties with such qualitative traits could be widely used in the food industry and feed production. There has been noted that hulles barley varieties with a high protein percentage (16.8 %), the absence of hulls and low amylolytic activity (471 c), when adapting to growing conditions, will improve not only the quality of cereals, grain fodder, but can also be used for baking purposes. When summarizing the correlation analysis results, there was established that the correlation between a grain protein index

and other qualitative traits was identified only under the extremely dry conditions of 2021. Grain husk content closely correlated inversely with grain unit (-0.94^{**} ; -0.64^{*} ; -0.84^{**}) through all years of study. The 'falling number' in 2019 was somewhat less correlated with 1000-grain weight (0.60^{*}) and grain unit (0.61^{*}); negatively correlated with grain husk content both in 2019 and 2020 (-0.65^{*} ; -0.82^{**}).

Keywords: *hulled and hulles barley, protein, starch, husk content, grain unit, 1000-grain weight, 'falling number'.*

Введение. В настоящее время на российском и мировом рынке спрос на одну из основных зерновых культур – ячмень резко повысился. Это связано не только с потребностями комбикормовой промышленности, но и с возрастающей популярностью продуктов из зерна ячменя, которые относятся к категории здорового питания: ячменная крупа (ячневая, перловая), хлебобулочные и кондитерские изделия из пшеничной и ржаной муки с добавлением в разном соотношении ячменной. А также производство специализированного питания для диабетиков в связи с высоким содержанием в зерне ячменя б-глюканов, полноценного белка со сбалансированным аминокислотным составом, превосходящим другие злаки особенно по наличию лимитирующих триптофана и лизина (Полонский и др., 2018; Сумина и Полонский, 2020).

Несмотря на условное разделение по зонам возделывания – продовольственный ячмень, кормовой и пивоваренный, данная культура вне зональности, она универсальна. Ячменная мука в отличие от пшеничной характеризуется меньшим содержанием крахмала, но более высоким количеством клетчатки, что очень полезно для здоровья, богата пентазанами (8,2–12,4 %) и простыми сахарами, минералами и витаминами группы В, РР. В хлебопечении ячменная мука входит в композиционные смеси с пшеничной или ржаной мукой в количестве не более 30 %, так как обладает низким хлебопекарным качеством (Невская и др., 2019).

Кормовой ячмень занимает довольно крупный сегмент (около 75,0 %) от производимого в нашей стране зерна ячменя. Высокобелковое зерно ячменя как составная часть кормосмесей (согласно ГОСТу 53900-2010 кормовой ячмень должен содержать не менее 13,0 % белка) повышает биологическую ценность комбикормов. Отечественные сорта ячменя фуражного направления продуктивны, востребованы, с улучшенными кормовыми качествами (Левакова и Ерошенко, 2019).

Как было ранее отмечено, ячмень – культура универсального использования, однако требования, предъявляемые к продовольственному, кормовому и пивоваренному ячменю, различны. Зерно ячменя пивоваренного характеризуется крупностью, выравненностью, высокой жизнеспособностью (энергия прорастания – 95 %) и качеством: содержание крахмала более 65 %, пониженная пленчатость. Содержание белка в зерне пивоваренного ячменя должно быть не более 12,0 % (согласно Европейским стандартам (ЕВС) оптимальное количество варьирует в пределах 10,7–11,2 %). Однако многочисленными исследованиями установлено, что качество сусла за-

висит не от содержания, а от качества белков: наличие в зерне высокомолекулярных, плохо растворимых в воде белков (глобулинов и проламинов) улучшает вкус и физико-химические показатели пива (Трубачеева и Першина, 2021). Важный показатель, зависящий от устойчивости сорта к прорастанию на корню и влияющий на процесс соложения – амилалитическая активность зерна с «числом падения» не ниже 150 с (Беркутова, 1991).

Пленчатые сорта ячменя при технологической обработке теряют часть полезных для здоровья веществ, которые уходят вместе с оболочкой, зародышем и алейроновым слоем зерна. Еще с середины XX столетия внимание селекционеров направлено на ячмень голозерный, который более технологичен, и процесс переработки зерна не требует энергетических затрат на снятие пленок. Этот ячмень востребован в пищевой промышленности (различные крупы, ячменная мука), пивоваренной, а также в животноводстве как ценный корм (Лукина и др., 2022). Но наряду с достоинствами (химический состав голозерного ячменя имеет преимущества по содержанию белка, входящих в него незаменимых аминокислот, б-глюканов, жирных кислот) у голозерных линий ячменя отмечены низкие урожайность и посевные свойства (Филиппов и Дорошенко, 2015; Шевченко и др., 2021). В настоящее время исследования направлены на создание сортов, адаптированных к условиям произрастания, устойчивых к полеганию, болезням и вредителям.

Нарушение технологий возделывания, неправильный выбор сорта в зоне произрастания, высокие требования к качеству зерна ячменя разной категории использования – все эти причины приводят к недобору зерна для продовольственных целей и пивоварения. Ситуация осложняется тем, что регламентированные документы (ГОСТы, нормативы, методики) разработаны для пленчатых сортов ячменя, а к оценке качества зерна голозерных сортов требуется иной подход. Для решения данных проблем и эффективного использования сортов ячменя по назначению – продовольственный, кормовой» и пивоваренный необходимо объективное и углубленное изучение качества зерна с корректировкой на особенности голозерных сортов.

Цель исследований – оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя, определение взаимосвязи между показателями качества.

Материалы и методы исследований. На экспериментальной базе Самарского НИИСХ в течение 2019–2021 гг. изучались биохимические и технологические показатели

зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя из конкурсного сортоиспытания. Размол зерна проводили на мельнице Mill-3100. В цельносмолотом зерне определяли азот белковый по ГОСТ 10846-91, крахмал по ГОСТ 10845-98, пленчатость по ГОСТ 10843-76, натуру зерна по ГОСТ 10840-2017, массу 1000 зерен по ГОСТ 10842-89, показатель «число падения» по Хагбергу – Пертену (ГОСТ 30498-97). Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по Б. А. Доспехову.

Погодные условия в 2019 и 2020 гг. характеризовались низкими температурами (ниже среднемноголетних на 1,5–8,0 °C) в начале вегетации и засухами в фазу налива и созревания зерна; в 2021 г. период роста и развития растений отмечен как острозасушливый (гидротермический коэффициент составил 0,39), хотя количество осадков в весенний период превышало среднемноголетние значения на 14 мм – данные погодные обстоятельства не могли не отразиться на химико-технологических показателях зерна.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в вегетационный период развития растений в условиях Среднего Поволжья влияют на показатели качества зерна пленчатого и голозерного ячменя. Белковость зерна ячменя

является одним из главных показателей (критерий), который учитывают при использовании зерна ячменя по назначению: продовольственный, кормовой и пивоваренный. Для каждой категории ячменя характерен свой диапазон белковости, от уровня которого зависит качество того или иного конечного продукта. Результаты исследований (2019–2021 гг.) свидетельствуют о влиянии температурного режима и неравномерного выпадения осадков на накопление белка в зерне. Несмотря на то что погода в вегетационный период в 2019 и 2020 гг. характеризовалась и низкими температурами, и небольшими засухами, условия содействовали формированию белка у пленчатого ячменя на уровне 12,6–13,1 % (сорт Беркут, st.) и 14,4–15,3 % (сорт Безенчукский 2); у сортов голозерного ячменя – 12,8–15,3 %. Воздушная засуха и отсутствие почвенной влаги в 2021 г. способствовали значительному накоплению белковых веществ в зерне – от 13,8 до 20,0 %. Максимальное содержание белка отмечено у сортов Стрелецкий голозерный и Омский голозерный 1 – 19,5–20,0 %. В среднем за годы исследований выделилась высокобелковая группа сортов ячменя: Орлан, Безенчукский 2, Лунь, Стрелецкий голозерный и Омский голозерный 1 – 14,9–16,8 % (табл. 1).

Таблица 1. Биохимический состав зерна пленчатого и голозерного ячменя, 2019–2021 гг.
Table 1. Biochemical composition of hulled and hulls barley grain, 2019–2021

№ п/п	Сорт	Белок, %	Крахмал, %	Пленчатость, %	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Число, падения, с
1	Беркут, st	13,2	55,9	10,9	40,0	676	365
2	Прерия	14,5	53,7	11,9	41,4	663	417
3	Медикум 157	14,4	52,8	10,9	43,0	664	384
4	Орлан	14,9	52,5	11,9	44,1	661	421
5	Финист	14,7	51,9	11,3	38,9	661	409
6	Пересвет	14,2	52,1	11,5	41,6	668	371
7	Ястреб	14,4	54,2	12,3	41,5	672	373
8	Лунь	15,5	51,9	11,7	43,9	645	396
9	Безенчукский 2	14,9	53,5	11,5	43,7	654	378
10	Волгодон	13,5	53,9	13,3	40,7	603	352
11	Стрелецкий голозерный	16,8	56,7	–	39,7	733	471
12	Омский голозерный 1	15,5	53,5	–	40,4	742	416
НСР _{0,05}		1,5	–	1,2	4,5	37	47

Сорт ячменя Стрелецкий голозерный за данный период сформировал наибольшее количество белка в зерне (16,8 %). При условии адаптации голозерных сортов к условиям произрастания возможно решить задачу, которая стоит перед ячменем кормового назначения – повышение питательности и биологической ценности комбикормов. Оценка коэффициентов вариации (Cv) показала, что содержание белка в 2019 и 2020 гг. варьировало незначительно – в пределах 5,3–5,5 %. В 2021 г. изменчивость признака увеличилась до 12,8 %, что свидетельствует о возможности ведения селекции сортов ячменя на содержание белка (табл. 2).

«Энергетический» углевод – крахмал характеризовался стабильностью, на него практически не влияли условия произрастания,

при оценке вариабильности за годы исследований признак показал малую изменчивость (Cv = 2,9–6,5 %). По содержанию крахмала выделялись сорта пленчатого ячменя Беркут (st) – 55,9 % и Стрелецкий голозерный – 56,7 %. Данный показатель качества наиболее ценен в пивоварении, поэтому в этой отрасли переработки используется более богатый крахмалом мучнистый ячмень. Крахмалистость колеблется в значительных пределах в зависимости от сорта (в течение 2019, 2020 и 2021 гг. от 45,2 до 61,7 %), места произрастания (в северных районах страны возделывают сорта ячменя с высоким количеством крахмала), условий уборки: перестой культуры из-за усиленного дыхания растения ведет к снижению данного параметра (Вавилов и др., 1986).

Таблица 2. Матрица коэффициентов корреляции и коэффициентов вариации показателей качества зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя (2019, 2020, 2021 гг.)
Table 2. Matrix of correlation and variation coefficients
of grain quality indicators of hulled and hulless barley varieties (2019, 2020, 2021)

№ п/п	Год	Признак	Белок, %	Крахмал, %	Пленчатость, %	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	Число падения, с	К вариации, %
1	2019	Белок, %	1,00	—	—	—	—	—	5,5
2		Крахмал, %	0,09	1,00	—	—	—	—	2,9
3		Пленчатость, %	–0,43	–0,41	1,00	—	—	—	47,3
4		Масса 1000 зерен, г	0,46	0,41	–0,63*	1,00	—	—	6,2
5		Натура, г/л	0,29	0,48	–0,94**	0,60*	1,00	—	8,0
6		Число падения, с	0,32	0,75**	–0,65*	0,60*	0,61*	1,00	7,4
1	2020	Белок, %	1,00	—	—	—	—	—	5,3
2		Крахмал, %	–0,01	1,00	—	—	—	—	4,1
3		Пленчатость, %	0,05	0,12	1,00	—	—	—	47,7
4		Масса 1000 зерен, г	0,00	–0,17	0,27	1,00	—	—	4,8
5		Натура, г/л	–0,40	–0,02	–0,64*	0,13	1,00	—	4,6
6		Число падения, с	0,24	–0,24	–0,82**	–0,33	0,36	1,00	11,7
1	2021	Белок, %	1,00	—	—	—	—	—	12,8
2		Крахмал, %	0,13	1,00	—	—	—	—	6,5
3		Пленчатость, %	–0,85**	–0,56	1,00	—	—	—	47,5
4		Масса 1000 зерен, г	–0,64**	–0,42	0,76**	1,00	—	—	9,2
5		Натура, г/л	0,83**	0,29	–0,84**	–0,67*	1,00	—	5,2
6		Число падения, с	0,64*	–0,16	–0,34	–0,21	0,39	1,00	10,7

Примечание. * – значимость на 5 %-м уровне; ** – значимость на 1 %-м уровне.

Пленчатость зерна ячменя – важный показатель для пивоварения, зависящий как от сорта, так и от условий возделывания. В исследуемых образцах пленчатость зерна за 2019–2021 гг. была на уровне 10,9 % (сорт Беркут, ст.) и 13,3 % (сорт Волгодон) с колебаниями по годам от 10,0 до 14,8 %. Установлено, что в условиях 2021 г. (количество осадков в весенний период превышало среднееголетние значения) пленчатость зерна характеризовалась более высокими значениями (выше на 1,4–2,4 %), чем в 2019 и 2021 годах. Особо выделился сорт ячменя Волгодон, который имел максимальные значения во все годы исследований.

К параметрам, характеризующим продовольственные качества ячменя, а именно крупяные достоинства, относятся масса 1000 зерен и натура зерна. Данные показатели влияют на процесс выработки, выход крупы (Иунихина и Вайтанис, 2018). Наибольшая масса 1000 зерен за годы исследований отмечена у пленчатых сортов ячменя Безенчукский 2, Лунь, Орлан (43,7–44,1 г). По абсолютной массе исследуемые сорта ячменя можно отнести к категории средних по весу. Острый дефицит влаги в период налива зерна в 2021 г. заметно повлиял, по сравнению с другими годами исследований, на снижение массы 1000 зерен (36,0–40,0 г). У голозерных сортов отмечена минимальная масса 1000 зерен – 30,2–30,4 г. В 2020 г. фаза налива зерновок характеризовалась средним уровнем влагообеспеченности, и данный показатель качества у всех сортов ячменя был наибольшим – 43,0–49,0 г.

По натуре зерна голозерные сорта ячменя имели большое превосходство над пленчатыми во все годы исследований (превышение в сред-

нем за 2019–2021 гг. составило на 57–139 г/л), максимальные показатели – 752–776 г/л. Данный параметр важен для зерна, поставляемого для выработки крупы (нормируется ГОСТом не ниже 630 г/л). Голозерный ячмень в этой области использования имеет ряд преимуществ: ненужность проведения процесса шелушения, отделение от зерна более тонкого поверхностного слоя и в конечном итоге улучшение цвета крупы. При оценке варибельности установлено, что масса 1000 зерен ($C_v = 6,2; 4,8; 9,2$ %) и натура зерна ($C_v = 8,0; 4,6; 5,2$ %) относятся к слабо варьирующим признакам.

Важный показатель у сортов ячменя пивоваренного назначения, зависящий от устойчивости сорта к прорастанию на корню, – амилазная активность зерна. Результаты исследований показали высокое «число падения», определяемое в зерне у пленчатых сортов 352–421 с, у голозерных – 416–471 с, что говорит о низкой активности α -амилазы у сортов ячменя, особенно голозерных. Среди пленчатых форм выделились сорта ячменя Орлан и Прерия (461–486 с), среди голозерных – Стрелецкий голозерный (488 с) с максимальными значениями «числа падения» во все годы исследований. Расчеты коэффициентов вариации (C_v) показали: «число падения» в 2019, 2020 и 2021 гг. было относительно стабильным и варьировало в средних пределах – 7,4–11,7 %.

Изучение в ходе научных исследований показателей (белок, крахмал, пленчатость, масса 1000 зерен, натура, число падения) необходимо для оценки технологических свойств ячменя с целью определения той или иной области его переработки. Очень важно установить значимую взаимосвязь между

показателями (* – значимость на 5%-м уровне, ** – значимость на 1%-м уровне), так как полученные результаты можно использовать в целях селекционного улучшения биохимических и технологических параметров зерна ячменя. Согласно данным (табл. 2) взаимосвязь показателя белковости зерна с другими признаками качества отмечена лишь в острозасушливых условиях 2021 г.: положительная с натурой зерна (0,83**) и числом падения (0,64*) и обратная корреляционная с пленчатостью (–0,85**) и массой 1000 зерен (–0,64**). Повышение белковости под влиянием комплекса факторов (условия, среда плюс различия между сортами) является результатом уменьшения пленчатости зерна и массы 1000 зерен. Во все годы исследований пленчатость зерна тесно коррелировала обратной зависимостью с натурой зерна (–0,94**, –0,64*, –0,84**). В условиях 2019 г. масса 1000 зерен отмечена положительной корреляцией с натурой зерна 0,60*, а в 2021 г. (ГТК = 0,39) – с отрицательной –0,67*. Показатель «число падения», характеризующий амилолитическую активность зерна, в 2019 г. имел положительные корреляции с содержанием крахмала (0,75**) и несколько слабее был сопряжен с массой 1000 зерен (0,60*) и натурой (0,61*); с пленчатостью зерна отрицательно коррелировал и в 2019 и в 2020 гг. (–0,65*, –0,82**). Обобщенные результаты корреляционного анализа показали взаимосвязи более сильные и несколько слабее между признаками, что дает возможность вести отбор селекционного материала на качество зерна.

Выводы. Оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя позволила установить высокобелковую группу сортов: Орлан, Безенчукский 2, Лунь, Стрелецкий голозерный и Омский голозерный 1 (14,9–16,8%). Пленчатые сорта данной группы имели наибольшую массу 1000 зерен (43,7–44,1 г), характеризовались низкой активностью α -амилазы в зерне («число падения» 352–421 с). Сорта ячменя с такими признаками качества могут быть широко востребованы в пищевой промышленности (крупы, ячменная мука) и кормопроизводстве. Отмечено, что голозерные сорта ячменя с высоким содержанием белка (16,8%), отсутствием пленок и низкой амилолитической активностью (471 с) при адаптации к условиям произрастания улучшат не только качество круп, зернофуража, но и могут быть использованы в хлебопекарных целях. При обобщении результатов корреляционного анализа установлено: взаимосвязь показателя белковости зерна с другими признаками качества отмечена лишь в острозасушливых условиях 2021 г.; пленчатость зерна тесно коррелировала обратной зависимостью с натурой зерна (–0,94**, –0,64*, –0,84**) во все годы исследований; «число падения» в 2019 г. несколько слабее было сопряжено с массой 1000 зерен (0,60*) и натурой (0,61*); с пленчатостью зерна отрицательно коррелировало и в 2019, и в 2020 гг. (–0,65*, –0,82**).

Библиографические ссылки

1. Беркутова Н. С. Методы оценки и формирование качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 205 с.
2. Вавилов П. П., Гриценко В. В., Кузнецов В. С. и др. Растениеводство. М.: Агропромиздат, 1986. 512 с.
3. 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.
4. 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/VJGB-22-64.
5. Невская Е. В., Тюрина И. А., Тюрина О. Е., Шулбаева М. Т., Потапова М. Н., Головачева Я. С. Разработка хлебопекарных композитных смесей для здорового питания // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 4. С. 531–544. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>.
6. 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.
7. 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. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-3>
8. Трубочеева Н. В., Першина Л. А. Проблемы и возможности изучения пивоваренных признаков ячменя с использованием молекулярно-генетических подходов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 2. С. 171–177. <https://doi.org/10.18699/VJ21.021>.
9. Филиппов Е. Г., Дорошенко Э. С. Голозерный ячмень: состояние изученности и перспективы использования // Зерновое хозяйство России. 2015. № 4. С. 8–12.
10. Шевченко С. Н., Долженко Д. О., Калякулина И. А. Результаты селекции голозерного ячменя в Среднем Поволжье // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 2 (38). С. 15–27. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-15-27

References

1. Berkutova N. S. Metody otsenki i formirovaniye kachestva zerna [Methods for estimation and formation of grain quality]. M.: Rosagropromizdat, 1991. 205 s.

2. Vavilov P.P., Griksenko V.V., Kuznetsov V.S. i dr. Rastenievodstvo [Plant production]. M.: Agropromizdat, 1986. 512 s.
3. Levakova O.V., Eroshenko L.M. Vysokobelkovye sorta i perspektivnye linii yarovogo yachmenya [High-protein spring barley varieties and promising lines] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2019. № 6. S. 23–25. DOI: 10.30850/vrsn/2019/6/23-25.
4. Lukina K.A., Kovaleva O.N., Loskutov I.G. Golozernyi yachmen': sistematika, selektsiya i perspektivy ispol'zovaniya [Hulles barley: systematization, breeding and prospects for use] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2022. T. 26, № 6. S. 524–536. DOI: 10.18699/VJGB-22-64.
5. Nevskaya E.V., Tyurina I.A., Tyurina O.E., Shulbaeva M.T., Potapova M.N., Golovacheva Ya.S. Razrabotka khlebopekarnykh kompozitnykh smesei dlya zdorovogo pitaniya [Development of baking mixtures for a healthy diet] // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. 2019. T. 49, № 4. S. 531–544. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>.
6. Polonskii V.I., Loskutov I.G., Sumina A.V. Selektsiya na sodержание antioksidantov v zerne kak perspektivnoe napravlenie dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya [Breeding for antioxidants' content in grain as a promising direction for obtaining healthy foods] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. T. 22, № 3. S. 343–352. DOI: 10.18699/VJ18.370.
7. Sumina A.V., Polonskii V.I. Soderzhanie tsennykh veshchestv v zerne yachmenya, vyrashchennogo v kontrastnykh klimaticheskikh usloviyakh [The content of valuable substances in grain of barley grown in contrasting climatic conditions] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2020. T. 50, № 1. S. 23–31. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-1-3>
8. Trubacheeva N.V., Pershina L.A. Problemy i vozmozhnosti izucheniya pivovarennykh priznakov yachmenya s ispol'zovaniem molekulyarno-geneticheskikh podkhodov [Problems and opportunities for studying brewing traits of barley using molecular-genetic approaches] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2021. T. 25, № 2. S. 171–177. <https://doi.org/10.18699/VJ21.021>.
9. Filippov E.G., Doroshenko E.S. Golozernyi yachmen': sostoyanie izuchennosti i perspektivy ispol'zovaniya [Hulles barley state of knowledge and prospects for use] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2015. № 4. S. 8–12.
10. Shevchenko S.N., Dolzhenko D.O., Kalyakulina I.A. Rezul'taty selektsii golozernogo yachmenya v Srednem Povolzh'e [Results of hulles barley breeding in the Middle Volga region] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 2 (38). S. 15–27. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-2-15-27

Поступила: 23.12.22; доработана после рецензирования: 26.01.23; принята к публикации: 26.01.23.

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, сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Шевченко С.Н. – концептуализация исследования; Анисимкина Н.В. – выполнение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СЕГРЕГАЦИЯ РЯДА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ГИБРИДА РИСА F₂ КНАО НЛАН ОН × КОНТАКТ

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

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

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

Э. С. Балукова, агроном лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0001-8976-2703

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье представлены результаты изучения гибридной популяции второго поколения комбинации Khao Hlan On × Контакт. Сорт Khao Hlan On позднеспелый, мелкозерный, быстро растущий, высокорослый, неустойчивый к полеганию, Контакт – скороспелый, среднезерный, низкорослый, устойчивый к полеганию. Цель исследований – анализ наследования основных количественных признаков у гибрида риса F₂ Khao Hlan On × Контакт и отбор лучших форм для селекции. В ходе генетического анализа выявлены особенности наследования признаков, оказывающих влияние на урожайность, отобраны лучшие растения со средней высотой, вертикальными метелками и средними по массе зерновками. Исследования проводили в 2022 г. на полях ОП «Пролетарское» (Ростовская область). По всем изученным признакам установлены моногенные различия между родительскими сортами. По высоте растений частично доминировали меньшие значения признака (hp = –0,22). По длине метелки также наблюдалось частичное отрицательное доминирование этого признака (hp = –0,35). По признаку «количество колосков в метелке» выявлено частичное доминирование меньшей величины признака (hp = –0,19). По массе 1000 зерен установлено частичное отрицательное доминирование (hp = –0,26). Отобраны лучшие по морфотипу формы F₂, которые согласно проведенным нами ранее исследованиям отличались оптимальной высотой растений, длиной метелок, числом колосков на них и массой 1000 зерен.

Ключевые слова: рис, наследование, гены, количественные признаки, сегрегация.

Для цитирования: Костылев П. И., Краснова Е. В., Аксенов А. В., Балукова Э. С. Сегрегация количественных признаков у гибрида риса F₂ Khao Hlan On × Контакт // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 29–34. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-29-34.



SEGREGATION OF A NUMBER OF QUANTITATIVE TRAITS IN THE RICE HYBRID F₂ 'KHAO HLAN ON × KONTAKT'

P. I. Kostylev, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

E. V. Krasnova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774;

A. V. Aksenov, junior researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-6641-878X;

E. S. Balyukova, agronomist of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-8976-2703

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current paper has presented the study results of the hybrid population of the second generation 'Khao Hlan On × Kontakt'. The variety 'Khao Hlan On' is late-maturing, small-grained, fast-growing, of tall height, resistant to lodging, the variety 'Kontakt' is early-maturing, medium-grained, of low height, resistant to lodging. The purpose of the study was to analyze the inheritance of the main quantitative traits in the rice hybrid F₂ 'Khao Hlan On × Kontakt' and select the best forms for breeding. In the course of genetic analysis, there have been determined the features of traits' inheritance that affect productivity; there have been selected the best plants with an average height, with vertical panicles and mean grain weight. The study was carried out on the fields of the EP "Proletarskoe" (the Rostov Region) in 2022. For all the studied traits, there have been established the monogenic differences between the parental varieties. According to plant height, there was a partial domination of the lower values of the trait (hp = –0.22). According to panicle length, there was a partial negative dominance of the trait (hp = –0.35). According to the trait 'number of spikelets per panicle', there was a partial dominance of a smaller value of the trait (hp = –0.19). According to 1000-grain weight, there was a partial negative dominance (hp = –0.26). There have been selected the best morphotype F₂ forms, which according to our earlier study, differed in optimal plant height, panicle length, number of spikelets per panicle, and 1000-grain weight.

Keywords: rice, inheritance, genes, quantitative traits, segregation.

Введение. На продуктивность риса в значительной степени влияют абиотические фак-

торы, такие как затопление водой, и биотические, такие как сорняки. Хотя затопление после

прямого посева риса помогает подавить сорняки (*Echinochloa spp.*), оно также может отрицательно повлиять на всхожесть и рост риса, что приводит к плохому формированию урожая. По данным Estioko et al. (2014), сорт Khao Hlan On отличался повышенной скоростью прорастания, роста проростков и углеводного обмена при затоплении. В проростках этого сорта риса при затоплении после посева выявлена повышенная активность алкогольдегидрогеназы и пируватдекарбоксилазы.

Затопление поля после прямого посева создает анаэробные условия, которые помогают бороться с сорняками на ранних стадиях роста культуры, но также снижает всхожесть риса, поскольку современные генотипы риса чувствительны к анаэробным условиям во время прорастания и раннего роста проростков. Таким образом, технология прямого посева семян в почву требует улучшения методов выращивания риса и борьбы с сорняками в орошаемых экосистемах. Генотипы риса, устойчивые к анаэробным условиям во время прорастания и раннего роста проростков, могли бы решить эти проблемы за счет улучшения способности быстрого роста на затопленных почвах и облегчения борьбы с сорняками при затоплении (Ismail et al., 2012; Angaji et al., 2010).

Азиатскими учеными после скрининга более 8000 образцов GenBank было выявлено несколько местных сортов с устойчивостью к анаэробным условиям прорастания, в том числе Khao Hlan On, Ma-Zhan Red (Septiningsih et al., 2018). Было идентифицировано несколько многообещающих QTL, контролирующих устойчивость, включая qAG-9-2 (AG1) и qAG7.1 (AG2), полученных от сортов Khao Hlan On и Ma-Zhan Red соответственно (Chamara et al., 2018).

В России выведение энергично растущих, неполегающих сортов риса также является актуальным, поэтому целесообразно использовать доноры в гибридизации с отечественными сортами и определить особенности наследования важных признаков для более успешного комбинирования лучших аллелей.

Урожайность зерна находится под влиянием высоты растений, длины метелок и зерновок, массы семян и их количества на метелках. Для селекции важно понимать особенности сегрегации признаков у гибридов и их комбинирования у растений риса. Ряд авторов показали, что очень значимые положительные корреляции урожайности зерна наблюдались на фенотипическом уровне по массе зерна на растении (0,796), зерен на метелке (0,702), метелок на растении (0,632), в то время как умеренные положительные корреляции выявлены по отношению количества дней до цветения (0,412) и созревания (0,544). Наоборот, количество пустых колосков на метелке (–0,225) и высота растения (–0,342) имели отрицательную значимую связь с урожайностью (Oladosu et al., 2018).

Высота растений оказывает большое влияние на устойчивость к полеганию и индекс уро-

жая. Этот признак определяется несколькими генами, изменяющими длину стебля. Ученые выявили 10 генов высоты растений, картированных в хромосомах 1, 5, 6, 7 и 11 (Lei et al., 2018).

Длина метелки влияет на количество семян на ней, что также важно для урожайности зерна. Известно, что длина метелки определяется 4 генами, расположенными в хромосомах 4, 6 и 9 (Liu et al. 2016).

Урожайность зерна риса также зависит от массы 1000 зерен, контролируемой 11 генами, и от количества колосков в метелке, определяемых 6 генами (Yuan et al., 2019).

Выявляемые сортовые различия связаны главным образом с неодинаковым аллельным состоянием генов. Аллельные различия скрещиваемых форм особенно важно знать для целей селекции, так как с этим критерием связано планирование объемов гибридизации и интенсивности отборов, проводимых в расщепляющихся популяциях.

В мире публикуется много статей с использованием сегрегационного анализа генетической системы количественных признаков растений (Gay, 2005; Qulmamatova et al., 2018; Zhang et al., 2021; Li et al., 2022).

Цель исследований – анализ наследования основных количественных признаков у гибрида риса F_2 Khao Hlan On $\times$ Контакт и отбор лучших форм для селекции.

Материалы и методы исследований.

В качестве материала для генетического анализа использовали 528 растений F_2 гибрида Khao Hlan On $\times$ Контакт и по 150 растений родительских сортов. Сорт Khao Hlan On получен из Агрогенетического института (Вьетнам). Он имеет очень высокую энергию первоначального роста. Сорт позднеспелый, высокорослый (110–120 см), после созревания часто полегает. Метелки развесистые поникающие, длиной 19–20 см, несут в среднем по 50–60 колосков. Зерновка мелкая округлая, масса 1000 зерен – 25–26 г. Урожайность в условиях Пролетарского района Ростовской области – от 3 до 4 т/га.

Сорт Контакт скороспелый, низкорослый (70–80 см), метелка прямостоячая короткая (12–13 см), несет 90–100 колосков, зерновка средняя овальная, масса 1000 зерен – 29–30 г. Урожайность сорта – от 6,2 до 8 т/га.

Гибридизацию провели в 2020 г., во второй год (2021) вырастили F_1 . Растения риса F_2 были выращены в 2022 г. на полях ОП «Пролетарское» АНЦ «Донской» (Ростовская обл.). Почва тяжелосуглинистая, темно-каштанового цвета. Содержание гумуса около 3,00 %, азота – 0,21 %, фосфора – 0,15 %, калия – 2,50 %. Площадь деланки под родительскими сортами и гибридом составляла 10 м². Гибридологический анализ проводили в программе Полиген А (Мережко, 2005), графики строили в программах Statistica 10 и MS Excel. Метеорологические условия в процессе роста и развития растений риса были благоприятными.

Результаты и их обсуждение. В гибридной популяции второго поколения Khao Hlan On $\times$

Контакт происходило широкое расщепление по всем изучаемым признакам. В предыдущей статье журнала «Зерновое хозяйство России» № 6, 2022 года был проанализирован другой гибрид, с участием сорта Бахус, который также имеет высокую энергию начального роста, однако его гены отличаются от Khao Hlan On. Поэтому картина расщепления была другой.

Высота растений родительских сортов различалась на 40,9 см. Средняя высота Kontakta составляла 74,8 см, Khao Hlan On – 115,7 см, гибрида – 90,9 см. Варьирование высоты растений гибридной популяции было в широких пределах – от 56 до 135 см (рис. 1). Величина коэффи-

циента вариации (V) составила 14,8 %. Кривая распределения частот (КРЧ) этого признака у гибрида имела положительную асимметрию ($As = 0,49$). Вершина кривой гибрида располагалась левее от центра поля графика, сместившись к вершине КРЧ Kontakta. Наследование высоты характеризовалось частичным отрицательным доминированием ($h_r = -0,22$) и преобладанием среднерослых растений. Около четверти крайних частот гибрида справа соответствовали таковым сорта Khao Hlan On, следовательно, большая высота является рецессивным признаком. Установлено моногибридное расщепление признака, соотношение классов 3:1, сила гена 40,9 см.

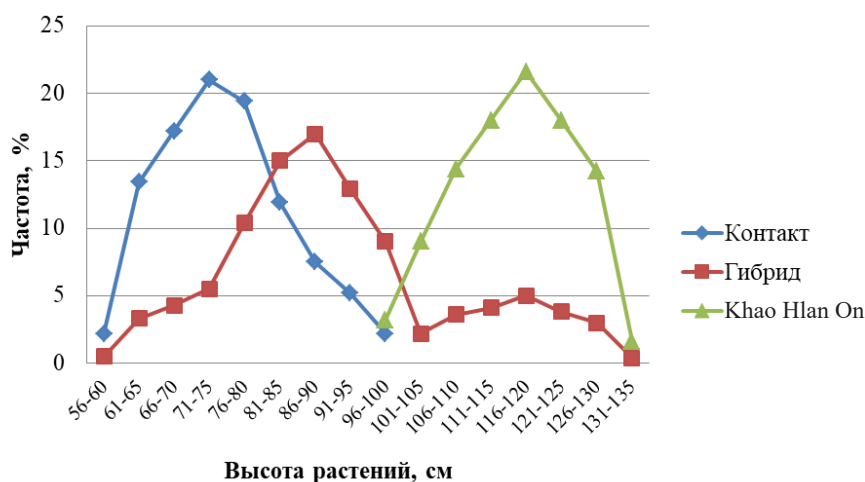


Рис. 1. Распределение частот признака «высота растений» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On $\times$ Контакт (2022 г.)

Fig. 1. Distribution of frequency of the trait 'plant height' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On $\times$ Kontakt' (2022)

Метелки у растений сорта Контакт имели среднюю длину 12,1 см, у Khao Hlan On – 19,5 см, у гибрида F_2 – 14,5 см.

Длина метелки у гибридных растений значительно различалась – от 8 до 24 см ($V = 25,9\%$), однако не выходила за пределы изменчивости двух родительских сортов. Наблюдалось частичное отрицательное доминирование дан-

ного признака ($h_r = -0,35$). Кривая распределения частот признака гибридной популяции была двухвершинной. КРЧ сорта Контакт располагалась слева, Khao Hlan On – справа. КРЧ гибридной популяции была правосторонне асимметричной и соответствовала моногенной сегрегации на две группы потомков 3:1 (рис. 2). Средняя сила гена составила 7,4 см.

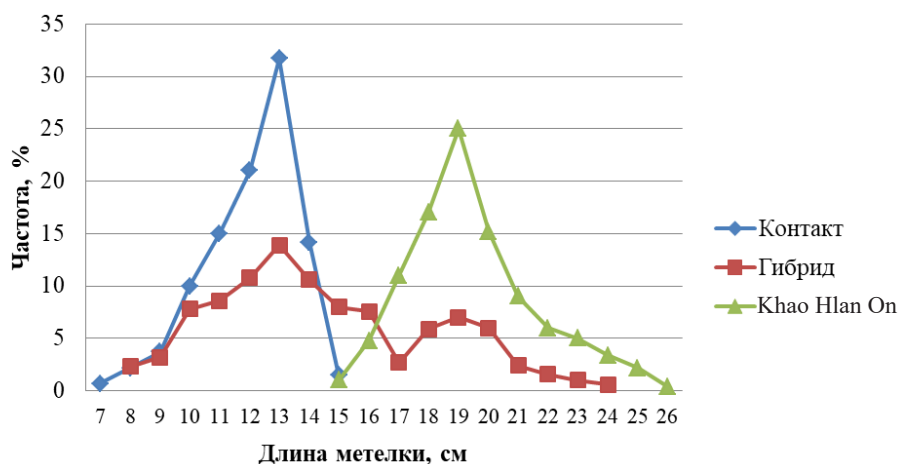


Рис. 2. Распределение частот признака «длина метелки» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On $\times$ Контакт (2022 г.)

Fig. 2. Distribution of frequency of the trait 'panicle length' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On $\times$ Kontakt' (2022)

Количество колосков в метелке у родительских сортов различалось на 47,1 шт., у сорта Контакт их было в среднем 98,4, у Khao Hlan On – 51,3 шт., у гибрида – 70,4 шт., при этом колебания составили от 14 до 158 шт. ($V = 38,9\%$). Установлено частичное отрицательное доминирова-

ние меньшего количества колосков ($h_r = -0,19$). Кривая распределения частот гибрида имела одну вершину, расположенную между вершинами сортов Контакт и Khao Hlan On (рис. 3). Наблюдалось моногенное расщепление по типу 1:2:1. Сила гена составила 47,1 шт.

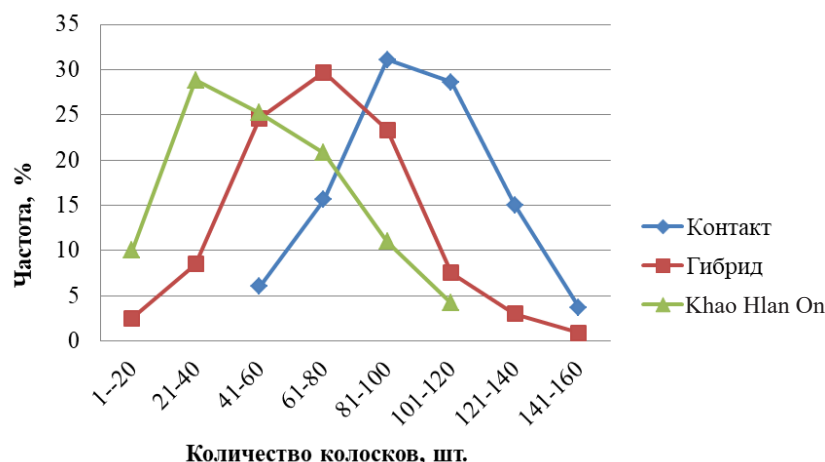


Рис. 3. Распределение частот признака «количество колосков» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On × Контакт (2022 г.)

Fig. 3. Distribution of frequency of the trait 'number of spikelets' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On × Kontakt' (2022)

Масса 1000 зерен у родителей различалась на 4,3 г, у сорта Khao Hlan On – 25,6 г, у сорта Контакт – 29,9 г. У гибридной популяции F_2 было среднее значение признака – 27,2 г. и варьировало в пределах изменчивости родительских сортов: от 24 до 33 г. Выявлено частичное отрицательное доминирование признака ($h_r = -0,26$).

КРЧ признака у растений F_2 имела две вершины, из которых большая располагалась слева, в области распределения сорта Khao Hlan On, а меньшая – справа, ближе к вершине Kontakта (рис. 4). Установлена сегрегация в соотношении 3:1, свидетельствующая о моногенных различиях. Величина силы гена была 4,3 г.

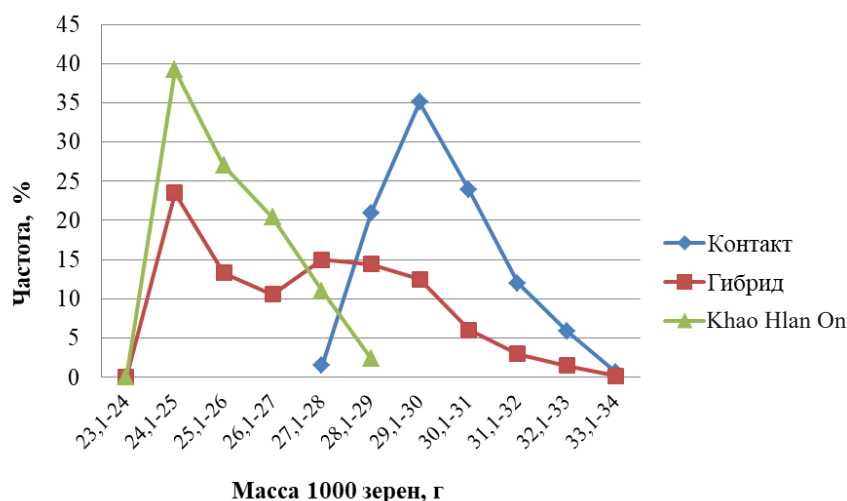


Рис. 4. Распределение частот признака «масса 1000 зерен» у родительских сортов и гибрида риса F_2 Khao Hlan On × Контакт (2022 г.)

Fig. 4. Distribution of frequency of the trait '1000-grain weight' in the parental varieties and the rice hybrid F_2 'Khao Hlan On × Kontakt' (2022)

Для селекционной работы были отобраны лучшие по морфотипу растения второго поколения (см. таблицу). Согласно проведенным нами ранее исследованиям они имели опти-

мальную длину стеблей растений (75–100 см) и метелок (18,1–21,5 см), с озерненностью от 99 до 114 шт. и средней массой 1000 семян 30–33 г.

**Характеристика выделившихся по морфотипу линий F₂
из гибридной популяции Khao Hlan On × Контакт (2022 г.) и родительских сортов
Characteristics of F₂ lines identified according to a morphotype
from the hybrid population 'Khao Hlan On × Kontakt' (2022) and parental varieties**

№ растений	Высота растений, см	Длина метелок, см	Количество колосков, шт.	Масса 1000 семян, г
Контакт	75	12	98	30
Khao Hlan On	116	20	51	26
37	90	12	99	30
43	84	13	102	31
105	85	16	107	30
119	80	12	103	31
143	94	14	106	31
217	90	18	107	30
230	90	21	99	33
277	95	17	102	30
404	75	12	100	30
430	88	20	105	30
509	100	20	109	30
528	85	22	114	30
σ	13,5	3,8	27,6	2,4

Линия 404 по морфологии была идентична с Контакт. Линии 430 и 509 имели такую же длинную метелку, как у Khao Hlan On (20 см), однако их высота была значительно меньше (88–100 см), поэтому они отличались устойчивостью к полеганию.

Линии, представленные в таблице, будут высеяны в 2023 г. в гибридном питомнике для отбора лучших форм для селекции интенсивно растущих урожайных сортов риса.

Выводы.

1. У гибрида F₂ установлены частичное доминирование меньших значений высоты растений ($h_p = -0,22$) и моногенная сегрегация признака в числовом соотношении 3:1, сила гена достигала 40,9 см.

2. По длине метелки наблюдалось частичное отрицательное доминирование этого признака ($h_p = -0,35$).

Кривая распределения частот этого признака у гибрида была двухвершинной. Во втором поколении выявлены моногенные различия предковых сортов и расщепление в соотношении 3:1. Сила гена составила 7,4 см.

3. По количеству колосков на метелке определены частичное доминирование меньшей величины признака ($h_p = -0,19$) и моногенная сегрегация 1:2:1. Сила гена составила 47,1 шт.

4. По массе 1000 зерен установлено частичное отрицательное доминирование ($h_p = -0,26$) и моногенное расщепление в соотношении 3:1. Сила действия гена – 4,3 г.

5. Отобраны для селекционной работы лучшие растения F₂, которые имели оптимальную высоту растений (75–100 см), длину метелок (18,1–21,5 см), озерненность от 99 до 114 шт. и среднюю массу 1000 семян 30–33 г.

Библиографические ссылки

- Мережко А. Ф. Использование менделевских принципов в компьютерном анализе наследования варьирующих признаков // Экологическая генетика культурных растений: Материалы школы молодых ученых РАСХН, ВНИИ риса. Краснодар, 2005. С. 107–117.
- Angaji S. A., Septiningsih E. M., Mackill D. J., Ismail A. M. QTLs associated with tolerance of flooding during germination in rice (*Oryza sativa* L.). *Euphytica*. 2010. Vol. 172. P. 159–168. DOI: 10.3389/fpls.2013.00269.
- Estioko L. P., Miro B., Baltazar A. M., Merca F. E., Ismail A. M., Johnson D. E. Differences in responses to flooding by germinating seeds of two contrasting rice cultivars and two species of economically important grass weeds. *AoB PLANTS*. 2014. Vol. 6, Article number plu064. DOI: 10.1093/aobpla/plu064.
- Chamara B. S., Marambe B., Kumar V., Ismail A. M., Septiningsih E. M., Chauhan B. S. Optimizing Sowing and Flooding Depth for Anaerobic Germination-Tolerant Genotypes to Enhance Crop Establishment, Early Growth, and Weed Management in Dry-Seeded Rice (*Oryza sativa* L.). *Front in Plant Science*. 2018. Vol. 9, Article number 1654. DOI: 10.3389/fpls.2018.01654.
- Gay J. Y. Segregation analysis of genetic system of quantitative traits in plants // *Hereditas* (Beijing). 2005. Vol. 27(1), P. 130–136.
- Ismail A. M., Johnson D. E., Ella E. S., Vergara G. V., Baltazar A. M. Adaptation to flooding during emergence and seedling growth in rice and weeds, and implications for crop establishment // *AoB Plants*. 2012. Vol. 2012, Article number Is019. DOI: 10.1093/aobpla/pls019.
- Lei L., Zheng H. L., Wang J. G., Liu H. L., Sun J., Zhao H. W., Yang L. M., Zou D. T. Genetic dissection of rice (*Oryza sativa* L.) tiller, plant height, and grain yield based on QTL mapping and metaanalysis // *Euphytica*. 2018. Vol. 214(7), Article number 109. P. 1–17. DOI: 10.1007/s10681-018-2187-2.
- Li P., Li G., Zhang Y. W., Zuo J. F., Liu J. Y., Zhang Y. M. A combinatorial strategy to identify various types of QTLs for quantitative traits using extreme phenotype individuals in an F₂ population // *Plant Communications*. 2022. Vol. 3(3), Article number 100319. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100319>.
- Liu E., Liu Y., Wu G., Zeng S., Thu G., Thi T. G. T., Liang L., Liang Y., Dong Z., She D., Wang H., Zaid I. U., Hong D. Identification of a candidate gene for panicle length in rice (*Oryza sativa* L.) via association and linkage analysis // *Front in Plant Science*. 2016. Vol. 7, Article number 596. P. 1–13. DOI: 10.3389/fpls.2016.00596.

10. Oladosu Y., Rafii M.Y., Magaji U., Abdullah N., Miah G., Chukwu S.C., Hussin G., Ramli A., Kareem I. Genotypic and Phenotypic Relationship among Yield Components in Rice under Tropical Conditions // Hindawi. BioMed Research International. Vol. 2018, Article ID 8936767, 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/8936767>.
11. Qulmamatova D.E., Adilova S.S., Baboev S.K. Variation of quantitative traits in F_2 hybrids received in crosses of geographically distant wheat forms // European science review. 2018. P. 15–18.
12. Septiningsih E.M., Mackill D.J. Genetics and breeding of flooding tolerance in rice, in Rice Genomics, Genetics and Breeding, eds T. Sasaki and M. Ashikari. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018. P. 275–295.
13. Yuan H., Qin P., Hu L., Zhan S., Wang S., Gao P., Li J., Jin M., Xu Z., Gao Q., Du A., Tu B., Chen W., Ma B., Wang Y., Li S. OsSPL18 controls grain weight and grain number in rice // Journal of Genetics and Genomics. 2019. Vol. 46. P. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003>.
14. Zhang X., Lian J., Dai C., Wang X., Zhang M., Su X., Cheng Y., Yu C. Genetic segregation analysis of unsaturated fatty acids content in the filial generations of high-linolenic-acid rapeseed (*Brassica napus*) // Oil Crop Science. 2021. Vol. 6(4). P. 169–174.

References

1. Merezhko A.F. Ispol'zovanie mendelevskikh printsipov v komp'yuternom analize nasledovaniya var'iruyushchikh priznakov [The use of Mendelian principles in computer analysis of the inheritance of varying traits] // Ekologicheskaya genetika kul'turnykh rastenii: Materialy shkoly molodykh uchenykh RASKhN, VNII risa. Krasnodar, 2005. S. 107–117.
2. Angaji S.A., Septiningsih E.M., Mackill D.J., Ismail A.M. QTLs associated with tolerance of flooding during germination in rice (*Oryza sativa* L.). Euphytica. 2010. Vol. 172. P. 159–168. DOI: 10.3389/fpls.2013.00269.
3. Estioko L.P., Miro B., Baltazar A.M., Merca F.E., Ismail A.M., Johnson D.E. Differences in responses to flooding by germinating seeds of two contrasting rice cultivars and two species of economically important grass weeds. AoB PLANTS. 2014. Vol. 6, Article number plu064. DOI: 10.1093/aobpla/plu064.
4. Chamara B.S., Marambe B., Kumar V., Ismail A.M., Septiningsih E.M., Chauhan B.S. Optimizing Sowing and Flooding Depth for Anaerobic Germination-Tolerant Genotypes to Enhance Crop Establishment, Early Growth, and Weed Management in Dry-Seeded Rice (*Oryza sativa* L.). Front in Plant Science. 2018. Vol. 9, Article number 1654. DOI: 10.3389/fpls.2018.01654.
5. Gay J.Y. Segregation analysis of genetic system of quantitative traits in plants // Hereditas (Beijing). 2005. Vol. 27(1), P. 130–136.
6. Ismail A.M., Johnson D.E., Ella E.S., Vergara G.V., Baltazar A.M. Adaptation to flooding during emergence and seedling growth in rice and weeds, and implications for crop establishment // AoB Plants. 2012. Vol. 2012, Article number ls019. DOI: 10.1093/aobpla/pls019.
7. Lei L., Zheng H.L., Wang J.G., Liu H.L., Sun J., Zhao H.W., Yang L.M., Zou D.T. Genetic dissection of rice (*Oryza sativa* L.) tiller, plant height, and grain yield based on QTL mapping and metaanalysis // Euphytica. 2018. Vol. 214(7), Article number 109. P. 1–17. DOI: 10.1007/s10681-018-2187-2.
8. Li P., Li G., Zhang Y.W., Zuo J.F., Liu J.Y., Zhang Y.M. A combinatorial strategy to identify various types of QTLs for quantitative traits using extreme phenotype individuals in an F_2 population // Plant Communications. 2022. Vol. 3(3), Article number 100319. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100319>.
9. Liu E., Liu Y., Wu G., Zeng S., Thu G., Thi T.G.T., Liang L., Liang Y., Dong Z., She D., Wang H., Zaid I.U., Hong D. Identification of a candidate gene for panicle length in rice (*Oryza sativa* L.) via association and linkage analysis // Front in Plant Science. 2016. Vol. 7, Article number 596. P. 1–13. DOI: 10.3389/fpls.2016.00596.
10. Oladosu Y., Rafii M.Y., Magaji U., Abdullah N., Miah G., Chukwu S.C., Hussin G., Ramli A., Kareem I. Genotypic and Phenotypic Relationship among Yield Components in Rice under Tropical Conditions // Hindawi. BioMed Research International. Vol. 2018, Article ID 8936767, 10 p. <https://doi.org/10.1155/2018/8936767>.
11. Qulmamatova D.E., Adilova S.S., Baboev S.K. Variation of quantitative traits in F_2 hybrids received in crosses of geographically distant wheat forms // European science review. 2018. P. 15–18.
12. Septiningsih E.M., Mackill D.J. Genetics and breeding of flooding tolerance in rice, in Rice Genomics, Genetics and Breeding, eds T. Sasaki and M. Ashikari. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018. P. 275–295.
13. Yuan H., Qin P., Hu L., Zhan S., Wang S., Gao P., Li J., Jin M., Xu Z., Gao Q., Du A., Tu B., Chen W., Ma B., Wang Y., Li S. OsSPL18 controls grain weight and grain number in rice // Journal of Genetics and Genomics. 2019. Vol. 46. P. 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2019.01.003>.
14. Zhang X., Lian J., Dai C., Wang X., Zhang M., Su X., Cheng Y., Yu C. Genetic segregation analysis of unsaturated fatty acids content in the filial generations of high-linolenic-acid rapeseed (*Brassica napus*) // Oil Crop Science. 2021. Vol. 6(4). P. 169–174.

Поступила: 11.01.23; доработана после рецензирования: 16.02.23; принята к публикации: 17.02.23.

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. – постановка цели и задач, анализ литературных данных, формирование методологии исследования и концепции статьи, анализ данных, написание текста статьи; Краснова Е.В. – структурный анализ. Аксенов А.В. – составление и анализ табличного материала; Балюкова Э.С. – отбор растений для анализа, промеры и подсчеты.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.11:631.52

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-35-41

ИЗУЧЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

М. М. Иванисов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, ivaniso561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

Д. М. Марченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

М. М. Копусь, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ORCID ID: 0000-0001-8824-1033

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В данной работе представлена трехлетняя оценка 14 новых сортов озимой мягкой пшеницы, созданных в лаборатории полуинтенсивного типа ФГБНУ «АНЦ «Донской» в последние годы, по следующим показателям: стекловидность, натура зерна, содержание белка и клейковины, ИДК, SDS-седиментация, сила муки, объемный выход хлеба из 100 г муки и общая хлебопекарная оценка. Основным путем улучшения качества зерна и муки озимой мягкой пшеницы – селекция, создание сортов и форм с оптимальными значениями данных показателей. Цель исследований – оценка современных сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по основным показателям качества зерна и муки. Селекционная работа на высокое мукомольно-хлебопекарное качество зерна всегда являлась одним из приоритетных направлений селекции озимой мягкой пшеницы в Аграрном научном центре «Донской». Содержание белка в зерне более 14 % в среднем по всем изучаемым сортам было отмечено в 2019 и 2021 гг., 14,14 и 14,10 %, соответственно. Среднее значение содержания клейковины в опыте находилось на уровне 27,1 %. Более 28,0 % клейковины отмечено у следующих сортов: Вольница (28,9 %), Подарок Крыму (29,5 %) и Золотой колос (28,9 %). По комплексу показателей качества изученные генотипы относились ко второму и третьему классу качества согласно ГОСТ 9353-2016. По результатам исследований выявлены достоверные положительные корреляционные связи между содержанием белка и клейковины в зерне ($r = 0,71 \pm 0,19$), объемным выходом хлеба и общей хлебопекарной оценкой ($r = 0,95 \pm 0,05$), содержанием клейковины и силой муки ($r = 0,57 \pm 0,22$), натурой зерна и SDS-седиментацией ($r = 0,62 \pm 0,21$), SDS-седиментацией и силой муки ($r = 0,63 \pm 0,21$).

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, селекция, сорт, показатели качества, конкурсное испытание.

Для цитирования: Иванисов М. М., Марченко Д. М., Кравченко Н. С., Копусь М. М. Изучение показателей качества современных сортов озимой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 35–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-35-41.



STUDY OF THE QUALITY INDICATORS OF MODERN WINTER WHEAT VARIETIES DEVELOPED BY THE FSBSI ARC “DONSKOY”

M. M. Ivanisov, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of half-intensive type, ivaniso561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of half-intensive type, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

M. M. Kopus, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 0000-0001-8824-1033

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The current paper has presented a three-year estimation of 14 new winter bread wheat varieties, recently developed in the laboratory of half-intensive type of the FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”, according to such indicators as kernel hardness, grain nature weight, protein and gluten percentage in grain, IDK, SDS-sedimentation, flour strength, volume yield of bread from 100 g of flour and general baking assessment. The main way to improve the quality of winter bread wheat grain and flour is breeding, the development of varieties and samples with optimal

values of these indicators. The purpose of the current study was to estimate current winter bread wheat varieties developed by the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" according to the main quality indicators of grain and flour. Breeding for high flour-grinding and baking quality of grain has always been one of the priority areas for winter bread wheat breeding at the Agricultural Research Center "Donskoy". There has been identified more than 14 % of protein in grain on average for all studied varieties in 2019 (14.14 %) and 2021 (14.10 %). The average value of gluten content in grain was at the level of 27.1 %. More than 28.0 % of gluten was found in such varieties as 'Volnitsa' (28.9 %), 'Podarok Krymu' (29.5 %) and 'Zolotoy Kolos' (28.9 %). According to a set of quality indicators, the studied genotypes belonged to the second and third quality classes according to GOST 9353-2016. According to the study results, there have been determined significant positive correlations between protein percentage and gluten content in grain ($r = 0.71 \pm 0.19$); volume yield of bread and general baking assessment ($r = 0.95 \pm 0.05$); gluten content and flour strength ($r = 0.57 \pm 0.22$); grain nature weight and SDS-sedimentation ($r = 0.62 \pm 0.21$); SDS-sedimentation and flour strength ($r = 0.63 \pm 0.21$).

Keywords: winter bread wheat, breeding, variety, quality indicators, competitive testing.

Введение. Увеличение производства растительного протеина, непосредственно используемого в пищу человеком, а также для кормления сельскохозяйственных животных, является одной из важнейших задач растениеводства в настоящее время (Подгорный и др., 2020).

Мягкая пшеница благодаря высокой урожайности и огромным площадям возделывания в белковом балансе растениеводства многих государств занимает одно из ведущих мест. Около 25 % годового сбора белка получают из данной культуры. Хлеб – основная продукция, изготавливаемая из зерна мягкой пшеницы. Примерно половину необходимых организму витаминов, углеводов, белков, минеральных и других веществ человек получает за счет хлебобулочных изделий и прочих продуктов, получаемых из пшеничного зерна (Nekrasova, 2021).

Основной путь улучшения мукомольно-хлебопекарных качеств озимой мягкой пшеницы – селекция, создание сортов и форм с оптимальными значениями данных показателей (Барковская и др., 2021). Однако для реализации генетического потенциала хлебопекарного качества любого генотипа также важны определенные факторы формирования урожая зерна (главным образом температурный и водный режимы, а кроме того, минеральное и в большей мере азотное питание растений) (Фадеева и др., 2022).

Цель исследований – оценка современных сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по основным показателям качества зерна и муки.

Материалы и методы исследований.

Работа проводилась в 2019–2021 гг. на базе ФГБНУ «АНЦ «Донской». Объектом исследова-

ний послужили 14 новых сортов озимой мягкой пшеницы, созданных в лаборатории селекции и семеноводства полуинтенсивного типа. Посев конкурсного сортоиспытания производили в 6-кратной повторности по предшественнику – кукуруза на зерно с нормой высева 500 всхожих семян на 1 м². В качестве стандарта использовали сорт Дон 107. Качество зерна и муки изучаемых сортов оценивали по ГОСТ 9353-2016 и методическим рекомендациям (1977, 1988) по следующим показателям: стекловидность, натура зерна, содержание белка и клейковины, ИДК, SDS-седиментация, сила муки, объемный выход хлеба из 100 г муки и общая хлебопекарная оценка.

Погодно-климатические условия 2019–2021 гг. позволили достаточно полно оценить изучаемые сорта по комплексу качественных показателей. Обилие осадков во время налива зерна в 2019 г. привело к ухудшению показателей хлебопекарного качества, а высокие температуры летнего периода в 2020 и 2021 гг. положительно повлияли на качество клейковины и хлеба.

Результаты и их обсуждение. Качество зерна пшеницы – понятие обширное. Наряду с признаками, определяющими технологические свойства и пищевое достоинство, оно включает в себя ряд физических показателей (Иванисова и др., 2022). Одним из них является стекловидность зерна, которая характеризует консистенцию эндосперма. Это сортовой признак, при одном и том же содержании белка один сорт может характеризоваться более высокой стекловидностью, другой – меньшей. За три года изучения (2019–2021 гг.) стекловидность изучаемых сортов изменялась от 50 до 91 % (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по стекловидности и натуре зерна (2019–2021 гг.)
Table 1. Characteristics of the winter bread wheat varieties according to kernel hardness and grain nature weight (2019–2021)

Сорт	Стекловидность, %				Натура зерна, г/л			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
Дон 107, ст.	68	53	68	63	837	766	815	806
Краса Дона	68	68	52	63	814	756	769	780
Вольный Дон	70	52	64	62	826	762	809	799
Вольница	67	50	52	56	816	712	778	769
Жаворонок	63	50	59	57	825	725	823	791
Полина	91	53	89	78	812	746	798	785

Продолжение табл. 1

Сорт	Стекловидность, %				Натура зерна, г/л			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
Амбар	73	52	55	60	821	750	792	788
Премьера	66	50	55	57	823	730	786	780
Подарок Крыму	67	51	50	56	830	721	798	783
Золотой колос	83	57	70	70	815	755	782	784
Аюта	66	52	50	56	806	729	756	764
Донец	71	50	51	57	813	715	771	766
Регион 161	77	50	50	59	837	784	794	805
Аксай	76	59	51	62	830	793	777	800
Флагман	73	50	68	64	815	721	797	778
Среднее по году	72	53	59	61	821	744	790	785

Максимальные значения признака отмечены в 2019 г. – от 63 % у сорта Премьера до 91 % у сорта Полина при среднем значении по опыту 72 %. В среднем за период исследований стекловидность находилась в пределах от 56 (Вольница, Подарок Крыму, Аюта) до 78 % (Полина). Первому классу (60 % и более) согласно ГОСТ 9353-2016 соответствовали 8 изученных сортов: Дон 107, Краса Дона, Вольный Дон, Полина, Амбар, Золотой колос, Аксай и Флагман.

К физическим показателям качества относят также натуру зерна. Считается, что от величины данного показателя зависит выход муки (Кравченко и др., 2022). В 2019 г. изучаемые

сорта в конкурсном сортоиспытании сформировали максимальную натуру зерна – от 806 до 837 г/л. Средние значения находились в пределах от 764 (Аюта) до 806 г/л (Дон 107). Все новые сорта селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по данному признаку соответствуют первому классу качества (750 г/л и более).

Качество зерна пшеницы (хлебопекарные свойства, питательная ценность) зависит в большой степени от содержания белка (Каменева и др., 2021). В среднем за 3 года изучения размах варьирования данного признака составил от 12,97 у сорта Регион 161 до 14,37 % у нового сорта Флагман (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по содержанию белка в зерне (2019–2021 гг.)
Table 2. Characteristics of the winter bread wheat varieties according to protein percentage in grain (2019–2021)

Сорт	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
Дон 107, ст.	14,81	13,39	13,94	14,05
Краса Дона	13,86	13,21	13,36	13,48
Вольный Дон	13,77	12,76	14,66	13,73
Вольница	14,81	12,68	14,25	13,91
Жаворонок	13,69	12,80	14,27	13,59
Полина	13,49	12,40	14,58	13,49
Амбар	13,76	13,12	14,14	13,67
Премьера	13,20	13,03	14,11	13,45
Подарок Крыму	14,83	13,74	13,91	14,16
Золотой колос	14,87	12,05	15,18	14,03
Аюта	14,02	11,60	14,41	13,34
Донец	14,57	13,26	13,96	13,93
Регион 161	14,11	11,91	12,90	12,97
Аксай	13,77	12,23	13,20	13,07
Флагман	14,51	14,02	14,57	14,37
Среднее по году	14,14	12,81	14,10	13,68

Максимальное содержание белка в зерне в среднем по всем изучаемым сортам было отмечено в 2019 и 2021 гг. – 14,14 и 14,10 %, соответственно. Ко второму классу качества (13,50 % и более) относилась большая часть представленных в таблице сортов. Третьему классу (12,00–13,49 %) соответствовали следующие сорта: Краса Дона (13,48 %), Полина (13,49 %), Премьера

(13,45 %), Аюта (13,34 %), Регион 161 (12,97 %) и Аксай (13,07 %).

Клейковина представляет собой сложный комплекс разнородных компонентов муки. Характеристики теста и хлебопекарные качества зависят не только от свойств клейковины, но и от количества ее в зерне. Содержание клейковины в среднем по сортам изменялось от 25,5 до 29,5 % (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по содержанию и качеству клейковины (2019–2021 гг.)
Table 3. Characteristics of the winter bread wheat varieties according to gluten content and quality (2019–2021)

Сорт	Содержание клейковины, %				ИДК, е.п., группа		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Дон 107, ст.	30,6	28,3	25,2	28,0	77-I	75-I	65-I
Краса Дона	25,6	28,1	27,6	27,1	71-I	85-II	69-I
Вольный Дон	27,1	26,4	27,2	26,9	70-I	73-I	75-I
Вольница	30,6	27,5	28,5	28,9	74-I	72-I	66-I
Жаворонок	27,0	24,9	26,8	26,2	80-II	76-I	70-I
Полина	27,0	29,7	25,9	27,5	83-II	73-I	66-I
Амбар	27,0	26,8	24,0	25,9	73-I	76-I	77-I
Премьера	24,8	26,9	29,1	26,9	76-I	78-II	68-I
Подарок Крыму	32,0	30,8	25,6	29,5	78-II	81-II	72-I
Золотой колос	29,6	27,9	29,1	28,9	80-II	61-I	68-I
Аюта	25,1	28,5	26,8	26,8	80-II	89-II	65-I
Донец	26,9	26,7	24,0	25,9	87-II	83-II	63-I
Регион 161	26,9	24,7	24,8	25,5	82-II	80-II	65-I
Акса́й	27,8	25,1	23,6	25,5	88-II	80-II	61-I
Флагман	31,8	26,1	24,8	27,6	90-II	73-I	58-I
Среднее по году	28,0	27,2	26,2	27,1	–	–	–

Среднее значение признака в опыте находилось на уровне 27,1 %. Согласно ГОСТ 9353-2016 ко второму классу (28,0 % и более) относились: Дон 107 (28,0 %), Вольница (28,9 %), Подарок Крыму (29,5 %) и Золотой колос (28,9 %). Остальные генотипы по данному признаку относились к третьему классу (23,0–28,0 %). Качество клейковины изучаемых сортов изменялось от 58 до 90 е.п. (единиц прибора) I и II группы качества. За три года изучения образцы Дон 107, Вольный Дон, Вольница

и Амбар ежегодно формировали индекс деформации клейковины на уровне первого класса качества (43–77 е.п., I группа).

Оценка генотипов озимой мягкой пшеницы по значениям величины седиментационного осадка является косвенным экспресс-методом оценки силы муки (Kibkalo, 2022). За годы исследования новые сорта сформировали высокие значения SDS-седиментации – от 56 до 60 мл, сила муки находилась в пределах 189–240 е.а. (единиц альвеографа) (табл. 4).

Таблица 4. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по SDS-седиментации и силе муки (2019–2021 гг.)
Table 4. Characteristics of the winter bread wheat varieties according to SDS-sedimentation and flour strength (2019–2021)

Сорт	SDS-седиментация, мл				Сила муки, е.а.		
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Дон 107, ст.	58	59	65	61	277	304	294
Краса Дона	61	55	54	57	167	201	249
Вольный Дон	59	55	55	56	193	232	249
Вольница	62	59	65	62	262	205	313
Жаворонок	64	55	55	58	150	190	241
Полина	63	51	62	59	139	224	261
Амбар	55	55	64	58	161	262	195
Премьера	59	55	53	56	135	173	173
Подарок Крыму	62	56	58	59	230	211	249
Золотой колос	52	55	65	57	207	232	291
Аюта	58	51	55	55	192	146	239
Донец	48	52	54	51	155	183	206
Регион 161	55	64	69	63	193	254	261
Акса́й	62	63	66	64	184	237	206
Флагман	52	51	57	53	193	160	179
Среднее по году	58	56	60	58	189	214	240

Максимальные значения седиментационного осадка (более 60 мл) отмечены у сортов Дон 107 (61 мл), Вольница (62 мл), Регион 161 (63 мл) и Акса́й (64 мл). Значения показателя «сила муки» изменялись в среднем по изу-

чаемым генотипам от 177 до 292 е.а. Стандарт Дон 107 превзошел все изучаемые образцы по данному признаку – 292 е.а. В условиях 2021 г. получены максимальные значения «силы муки» в среднем – 240 е.а., выделились

такие сорта, как Дон 107 (294 е.а.), Вольница (313 е.а.) и Золотой колос (291 е.а.).

При оценке качества хлеба самые точные показатели дает его выпечка. Объемный выход хлеба и общая хлебопекарная оценка – главные признаки хлебопекарного качества мягкой

пшеницы. В 2021 г. новые сорта зерноградской селекции сформировали максимальные значения объемного выхода хлеба из 100 г муки и общей хлебопекарной оценки – 799 см³ и 4,7 балла соответственно (табл. 5).

Таблица 5. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы по объемному выходу хлеба и общей хлебопекарной оценке (2019–2021 гг.)
Table 5. Characteristics of the winter bread wheat varieties according to volume yield of bread and general baking assessment (2019–2021)

Сорт	Объемный выход хлеба, см ³				Общая хлебопекарная оценка, балл			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
Дон 107, ст.	540	800	830	723	3,4	4,4	5,0	4,3
Краса Дона	600	770	640	670	3,8	4,9	3,5	4,1
Вольный Дон	650	680	750	693	4,1	4,1	4,6	4,3
Вольница	670	850	780	767	4	5	4,4	4,5
Жаворонок	620	730	800	717	3,8	4,6	4,7	4,4
Полина	540	530	770	613	3,2	3,2	4,9	3,8
Амбар	670	660	850	727	4,2	3,9	5,0	4,4
Премьера	560	730	810	700	3,3	4,5	4,7	4,2
Подарок Крыму	600	750	830	727	4	4,6	4,9	4,5
Золотой колос	610	650	840	700	3,7	4,1	4,6	4,1
Аюта	680	690	860	743	4,1	4,2	5,0	4,4
Донец	500	720	780	667	2,8	4,6	4,6	4,0
Регион 161	580	780	870	743	3,6	4,7	5,0	4,4
Аксай	510	620	780	637	2,9	3,7	4,5	3,7
Флагман	670	690	800	720	4,1	4,1	4,8	4,3
Среднее по году	600	710	799	703	3,7	4,3	4,7	4,2

Объем хлеба 700 см³ и более в среднем за три года сформировали следующие сорта: Дон 107 (723 см³), Вольница (767 см³), Жаворонок (717 см³), Золотой колос (700 см³), Аюта (743 см³), Регион 161 (743 см³) и Флагман (720 см³). Общая хлебопекарная оценка в среднем за 2019–2021 гг. изменялась от 3,7 до 4,5 балла. Максимальная оценка 4,5 балла отмечена

у сильных по качеству зерна сортов озимой мягкой пшеницы – Вольница и Подарок Крыму.

Анализ сопряженности изучаемых признаков показал тесную взаимосвязь между содержанием белка и клейковины в зерне – $r = 0,71 \pm 0,19$, а также объемным выходом хлеба и общей хлебопекарной оценкой – $r = 0,95 \pm 0,05$ (табл. 6).

Таблица 6. Корреляционные связи между показателями качества сортов озимой мягкой пшеницы (2019–2021 гг.)
Table 6. Correlations between quality indicators of the winter bread wheat varieties (2019–2021)

Содержание белка (1)	Содержание клейковины (2)	ИДК (3)	Стекло-видность (4)	Натура зерна (5)	SDS-седиментация (6)	Сила муки (7)	Объемный выход хлеба (8)	Общая хлебопекарная оценка (9)
1	0,71	–0,38	0,05	–0,28	–0,41	0,19	0,24	0,30
2	1,00	–0,67	0,32	–0,15	0,08	0,57	0,20	0,21
3		1,00	–0,42	–0,17	–0,22	–0,52	–0,14	–0,04
4			1,00	0,23	0,07	0,14	–0,63	–0,60
5				1,00	0,62	0,45	–0,13	–0,12
6					1,00	0,63	0,09	–0,04
7						1,00	0,31	0,22
8							1,00	0,95
9								1,00

Достоверные средние положительные взаимосвязи отмечены между содержанием клейковины и силой муки ($r = 0,57 \pm 0,22$), натурой зерна и SDS-седиментацией ($r = 0,62 \pm 0,21$), также SDS-седиментацией и силой муки ($r = 0,63 \pm 0,21$).

Выводы.

Селекция на высокое качество зерна и муки является важным направлением селекционной работы по озимой мягкой пшеницы в ФГБНУ «АНЦ «Донской». В среднем за три года изучения (2019–2021 гг.) в конкурсном испытании

новые сорта озимой мягкой пшеницы сформировали высокое качество зерна и муки по предшественнику кукуруза на зерно: стекловидность (61 %), натура зерна (785 г/л), содержание белка (13,68 %), содержание клейковины (27,1 %), ИДК (58–90 I–II группы качества), SDS-седиментация (58 мл), сила муки (215 е.а.), объем хлеба (703 см³), общая хлебопекарная оценка (4,2 балла). По комплексу показателей качества изученные генотипы относились ко второму и третьему классу качества согласно ГОСТ 9353-2016. Лучшими по данным при-

знакам оказались следующие сорта: Краса Дона, Вольный Дон, Вольница, Подарок Крыму, Золотой колос и Флагман. По результатам исследований выявлены достоверные положительные корреляционные связи между содержанием белка и клейковины в зерне ($r = 0,71 \pm 0,19$), объемным выходом хлеба и общей хлебопекарной оценкой – $r = 0,95 \pm 0,05$, содержанием клейковины и силой муки ($r = 0,57 \pm 0,22$), натурой зерна и SDS-седиментацией ($r = 0,62 \pm 0,21$), SDS-седиментацией и силой муки ($r = 0,63 \pm 0,21$).

Библиографические ссылки.

1. Барковская Т.А., Гладышева О.В., Кокорева В.Г. Оценка потребительских свойств зерна селекционных линий яровой мягкой пшеницы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22(2). С. 204–211. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.204-211.
2. Иванисова А.С., Марченко Д.М., Иличкина Н.П., Самофалова Н.Е., Олдырева И.М. Источники высокого качества зерна озимой твердой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 4 (32). С. 72–82.
3. Каменева А.С., Ионова Е.В., Марченко Д.М., Иличкина Н.П., Некрасова О.А. Изучение коллекционных образцов озимой твердой пшеницы по качеству зерна в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2 (74). С. 62–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-62-68.
4. Копусь М.М. Глиадиновые маркеры в селекции пшеницы. Ростов н/Д., 1988. 27 с.
5. Кравченко Н.С., Марченко Д.М., Игнатьева Н.Г., Копусь М.М., Мирошников К.А. Технологические свойства сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от предшественника // Аграрная наука. 2022. № 7–8. С. 146–151. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-146-151.
6. Методологические рекомендации по оценке качества зерна / ВАСХНИЛ. Научный Совет по качеству зерна. М., 1977. 172 с.
7. Подгорный С.В., Скрипка О.В., Самофалов А.П., Громова С.Н., Кравченко Н.С. Показатели качества сортов озимой мягкой пшеницы в экологическом сортоиспытании // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 4 (24). С. 143–151. DOI 10.33952/2542-0720-2020-4-24-143-151.
8. Фадеева И.Д., Игнатьева И.Ю., Хакимова А.Г., Митрофанова О.П. Исходный материал для селекции озимой мягкой пшеницы на качество зерна в условиях севера Среднего Поволжья // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183(1). С. 118–126. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-118-126.
9. Kibkalo I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes // Plants. 2022. Vol. 11(13), Article number 1640. DOI: 10.3390/plants11131640.
10. Nekrasova O. A., Kravchenko N. S., Marchenko D. M., Nekrasov E. I. Estimation of grain productivity and biochemical indicators of the winter bread wheat varieties depending on the forecrop // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 273, Article number 01027, DOI: 10.1051/e3sconf/202127301027.

References

1. Barkovskaya T.A., Gladysheva O.V., Kokoreva V.G. Otsenka potrebitel'skikh svoystv zerna selektsionnykh linii yarovoi myagkoi pshenitsy [Estimation of consumer grain properties of breeding lines of spring bread wheat] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2021. № 22(2). S. 204–211. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.204-211.
2. Ivanisova A.S., Marchenko D.M., Ilichkina N.P., Samofalova N.E., Oldyreva I.M. Istochniki vysokogo kachestva zerna ozimoi tverdoi pshenitsy [Sources of high quality of winter durum wheat grain] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2022. № 4 (32). S. 72–82.
3. Kameneva A.S., Ionova E.V., Marchenko D.M., Ilichkina N.P., Nekrasova O.A. Izuchenie kollektsionnykh obraztsov ozimoi tverdoi pshenitsy po kachestvu zerna v usloviyakh Rostovskoi oblasti [The study of collection samples of winter durum wheat according to grain quality in the conditions of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 2 (74). S. 62–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-62-68.
4. Kopus' M. M. Gliadinovye markery v selektsii pshenitsy [Gliadin markers in wheat breeding]. Rostov na/D., 1988. 27 s.
5. Kravchenko N. S., Marchenko D. M., Ignat'eva N. G., Kopus' M. M., Miroshnikov K. A. Tekhnologicheskie svoystva sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennika [Technological properties of winter bread wheat varieties depending on the forecrop] // Agrarnaya nauka. 2022. № 7–8. S. 146–151. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-146-151.
6. Metodologicheskie rekomendatsii po otsenke kachestva zerna [Methodological recommendations for estimating grain quality] / VASKhNIL. Nauchnyi Sovet po kachestvu zerna. M., 1977. 172 s.
7. Podgornyi S. V., Skripka O. V., Samofalov A. P., Gromova S. N., Kravchenko N. S. Pokazateli kachestva sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v ekologicheskoi sortoispytanii [Quality indicators of winter bread wheat varieties in ecological variety testing] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2020. № 4 (24). S. 143–151. DOI: 10.33952/2542-0720-2020-4-24-143-151.
8. Fadeeva I. D., Ignat'eva I. Yu., Khakimova A. G., Mitrofanova O. P. Iskhodnyi material dlya selektsii ozimoi myagkoi pshenitsy na kachestvo zerna v usloviyakh severa Srednego Povolzh'ya [Initial material for winter bread wheat breeding for grain quality in the conditions of the north of the Middle Volga region] //

Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2022. № 183(1). S. 118–126. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-118-126.

9. Kibkalo I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes // Plants. 2022. Vol. 11(13), Article number 1640. DOI: 10.3390/plants11131640.

10. Nekrasova O. A., Kravchenko N. S., Marchenko D. M., Nekrasov E. I. Estimation of grain productivity and biochemical indicators of the winter bread wheat varieties depending on the forecrop // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 273, Article number 01027, DOI: 10.1051/e3sconf/202127301027.

Поступила: 30.01.23; доработана после рецензирования: 13.02.23; принята к публикации: 13.02.23.

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, концептуализация исследований, критический анализ текста; Кравченко Н. С., Копусь М. М. – выполнение лабораторных опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

АДАПТИРОВАННЫЙ К УСЛОВИЯМ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕГИОНА НОВЫЙ СОРТ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО РАФАЭЛЬ

О. В. Левакова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и первичного семеноводства, levakova.olga@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-5400-669X;

О. В. Гладышева¹, кандидат сельскохозяйственных наук, директор ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, ORCID ID: 0000-0001-9030-0055;

Л. М. Ерошенко², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства ярового ячменя, ORCID ID: 0000-0002-8513-6665

¹Институт семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 390502, Рязанская обл., с. Подвьязь, ул. Парковая, 1; e-mail: podvyaze@bk.ru;

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,

143026, Московская обл., Одинцово, рп. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6

Цель исследования – выявить и представить наиболее ценные в хозяйственном отношении признаки нового сорта ячменя ярового Рафаэль в условиях Центрального региона. На основании Государственного задания Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» (ФИЦ «Немчиновка» (Московская область)) № 0608-2019-0011 и Института семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Рязанская область)) № 0581-2019-0021 создан новый сорт ярового ячменя Рафаэль. В 2020–2021 гг. проходил Государственное сортоиспытание. В 2022 г. включен в Государственный реестр селекционных достижений РФ и допущен к использованию по Центральному (3) и Волго-Вятскому (4) регионам. Код сорта 8057530. Получен патент № 12254. Селекционный номер 35/1-09 h 662 получен в результате скрещивания устойчивого к полеганию сорта Ксанаду и селекционной линии 27/13-78 h 34 (Московский 121 х Хайпроли), выделенной из генетической коллекции по комплексной устойчивости к гельминтоспориозу ячменя и почвенной засухе. Анализ многолетних данных (2014–2019 гг.) показал, что в различных агрометеорологических условиях экологического испытания сорт характеризовался повышенной продуктивностью в сравнении со стандартом Яромир и сортами более ранней селекции. В заложенном экспериментальном севообороте ФИЦ «Немчиновка» превысил среднесортное значение продуктивности на 0,44 т/га, прибавка урожайности относительно стандарта составила 0,68 т/га, относительно родительского сорта Ксанаду – 1,08 т/га. На полях ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ превысил стандарт на 0,09 т/га, обеспечив среднюю урожайность на уровне 6,85 т/га. Максимальное значение показателя уровня стабильности сорта (ПУСС = 141,6 %) характеризовало высокую степень адаптации сорта к различным условиям среды. Расчет экономической эффективности показал повышенную (на 17,0–20,8 %) рентабельность нового сорта по сравнению с широко распространенными сортами. Внедрение в производство данного сорта позволит существенно увеличить и стабилизировать валовые сборы зерна ячменя в Центральном и Волго-Вятском регионах России, повысить доходность предприятий и обеспечить кормопроизводящую промышленность отечественным сырьем.

Ключевые слова: ячмень яровой, новый сорт, урожайность, стабильность, рентабельность.

Для цитирования: Левакова О. В., Гладышева О. В., Ерошенко Л. М. Адаптированный к условиям Центрального региона новый сорт ячменя ярового Рафаэль // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 1. С. 42–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-42-49.



NEW SPRING BARLEY VARIETY 'RAFAEL' ADAPTED TO THE CONDITIONS OF THE CENTRAL REGION

O. V. Levakova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of breeding and primary seed production, levakova.olga@bk.ru, ORCID ID: 0000-0002-5400-669X;

O. V. Gladysheva¹, Candidate of Agricultural Sciences, director of ISA-branch of FGBNU FNAC VIM, ORCID ID: 0000-0001-9030-0055;

L. M. Eroshenko², Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory breeding and seed production of spring barley, ORCID ID: 0000-0002-8513-6665

¹Institute of Seed Production and Agrotechnologies, a branch of the FSBSI "Federal Research Agro-engineering Center VIM", 390502, Ryazan region, V. of Podvyazie, Parkovaya Str., 1; e-mail: podvyaze@bk.ru;

²FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka",

143026, Russia, Moscow region, Odintsovo, V. of Novoivanovskoe, Agrokhimiki Str., 6

The purpose of the current study was to identify and present the most economically valuable features of the new spring barley variety 'Rafael' in the conditions of the Central region. There was developed a new spring barley variety 'Rafael' based on the Governmental task of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center "Nemchinovka", (FRC "Nemchinovka" (Moscow Region)) No. 0608-2019-0011 and the Institute of Seed Production and Agrotechnologies, a branch of the FSBSI "Federal Research Agro-engineering Center VIM" (ISPA, a branch

of FSBSI FRAEC VIM (Ryazan region)) No. 0581-2019-0021. In 2020–2021 the variety was tested in the State Variety Testing. In 2022, the variety was included in the State List of Breeding Achievements of the Russian Federation and approved for use in the Central (3) and Volga-Vyatka (4) regions. The code of the variety is 8057530. There was received the patent No. 12254. Breeding number 35/1-09 h 662 was obtained when crossing the lodging-resistant variety 'Ksanadu' and the breeding lines 27/13-78 h 34 ('Moskovsky 121 x Highproli'), identified from the genetic collection according to a complex resistance to helminthosporiosis of barley and soil drought. The analysis of long-term data (2014–2019) has shown that under various agrometeorological conditions of the environmental trials, the variety was characterized by improved productivity in comparison with the standard variety 'Yaromir' and varieties of earlier breeding. In the experimental crop rotation FRC "Nemchinovka" exceeded the mean value of productivity on 0.44 t/ha, the productivity increase was on 0.68 t/ha more than that of the standard variety, and on 1.08 t/ha more than that of the parental variety 'Ksanadu'. In the fields, the ISPA, a branch of FSBSI FRAEC VIM exceeded the standard variety on 0.09 t/ha, providing a mean productivity of 6.85 t/ha. The maximum value of the indicator of the variety stability level (PSSS = 141.6%) has characterized a high degree of variety adaptation to various environmental conditions. The economic efficiency calculation has shown an increased profitability of the new variety on 17.0–20.8% compared to the widespread varieties. The introduction of this variety into production can significantly improve and stabilize gross barley productivity in the Central and Volga-Vyatka regions of Russia, increase profitability of enterprises and provide the feed industry with domestic raw materials.

Keywords: spring barley, new variety, productivity, stability, profitability.

Введение. Ячмень является второй зерновой культурой после пшеницы по значимости и объемам производства в России, которая используется в пищевых, кормовых и технических целях. Прочное место среди зерновых колосовых культур он завоевал за счет высокой пластичности, достаточно короткому вегетационному периоду, что позволяет ему произрастать в различных почвенно-климатических условиях практически во всех регионах России (Гудзенко, 2019).

Стабильное производство зерна в любой стране базируется на умении использовать новейшие селекционные достижения. Основной задачей в настоящее время остается выведение высокоурожайных сортов ячменя с минимальной ответной реакцией на неблагоприятные факторы среды (Левакова и др., 2022; Eroshenko et al., 2021).

Выбор лучших сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и ячменя, является наиболее экономически дешевым, доступным и быстрым способом повышения урожайности и валовых сборов зерна (Филиппов и др., 2022; Носков и др., 2022; Sujetovienė et al., 2018).

Имеющийся ресурсно-сортотенциал в производстве сельскохозяйственной продукции не всегда используется достаточно эффективно. Для России характерны замедленные темпы сортосмены, что противоречит логике рыночных отношений (Фирсова и Раева, 2017).

Цель исследования – выявить и представить наиболее ценные в хозяйственном отношении признаки нового сорта ячменя ярового Рафаэль в условиях Центрального региона.

Материалы и методы исследований.

Объект исследований – новый сорт ячменя ярового Рафаэль, который изучался в экологическом сортоиспытании ФИЦ «Немчиновка» (почва дерново-подзолистая среднесуглинистая окультуренная, пахотный слой с содержанием гумуса 1,8–2,0%; pH солевой вытяжки – 5,6–5,8; суммой поглощенных оснований – 19,0–22,3 мг/экв. на 100 г почвы; P_2O_5 – 260–280 мг/кг; K_2O – 100–120 мг/кг почвы; предшественник – озимая пшеница) и Рязанском филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (почва темно-серая лесная тяжелосуглинистая с со-

держанием органического вещества 5,60%, pH солевой вытяжки – 4,88 ед., P_2O_5 – 378 мг/кг почвы, K_2O – 275,0 мг/кг почвы; предшественник – чистый пар) в 2014–2021 годах. Норма высева в пунктах исследования была 500 шт. всхожих зерен на 1,0 м².

В качестве стандарта использовали сорт Яромир, находящийся в Госреестре селекционных достижений РФ с 2013 года. Для сравнительного анализа были привлечены наиболее востребованные в производстве сорта – Нур, Владимир, Надежный и Знатный селекции указанных выше учреждений и охватывающие большой ареал регионов возделывания – Центральный, Центральнo-Черноземный, Волго-Вятский, Средневолжский, Северо-Западный, Северный; и одна из исходных родительских форм – сорт немецкой селекции Ксанаду.

Полевые наблюдения проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Биохимические показатели качества зерна ячменя (содержание белка) определены методом ИК-спектроскопии с использованием прибора Unity Scientific Spectra Star 2400. Анализ структуры урожая, статистическая обработка экспериментальных данных методами дисперсионного, корреляционного и вариационного анализов проведены по Б.А. Доспехову (2014) с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel и «Diana». Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) – по Э.Д. Неттевичу (2001).

По метеорологическим данным ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ рассчитаны показатели среднесуточной температуры воздуха и суммы осадков за периоды исследований, отличающиеся крайней неравномерностью их распределения по фазам развития ячменя. Во все годы исследований среднесуточная температура воздуха была выше средних многолетних значений, а количество выпавших осадков от средних многолетних значений имело значительный разброс (рис. 1, 2). Засушливыми условиями вегетации характеризовались 2014, 2018, 2019, 2020, 2021 гг. – с ГТК 0,58–0,78; оптимальными, с коэффициентами влагообеспе-

ченности 0,89–1,36 характеризовались 2015, 2016, 2017, 2020 годы. Из 8 лет исследований в мае 2 года (2017, 2018) были с существенным дефицитом осадков – 13–25 %, 2 года с избыточным количеством (2016, 2020) – 54–68 %; в июне – 3 года (2014, 2015, 2020) имели переувлажнение выше на 109–143 %, а 2018 г. ха-

рактеризовался существенным недобором осадков на уровне 80 %; в июле – 2014 г. характеризовался критическим выпадением осадков ниже среднемноголетних на 98 %, 3 года (2019, 2020, 2021) – с недобором осадков на 13–40 %, 2 года (2016, 2018) – с переувлажнением на 10–20 %.

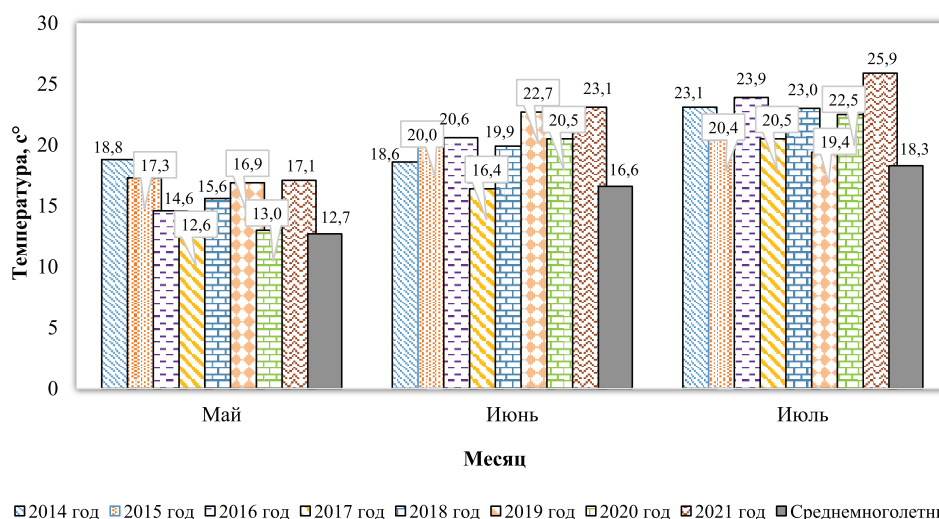


Рис. 1. Средние дневные температурные показатели периода вегетации ярового ячменя, °C (2014–2021 гг.)
Fig. 1. Mean daily temperatures of a spring barley vegetation period, °C (2014–2021)

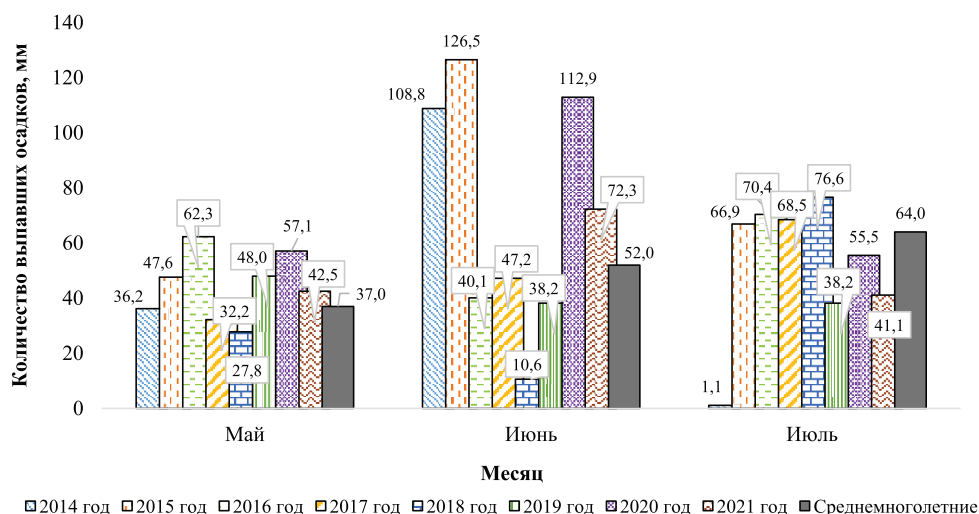


Рис. 2. Количество выпавших осадков, мм (2014–2021 гг.)
Fig. 2. Precipitation, mm (2014–2021)

Результаты и их обсуждение. В 2022 г. в Государственный реестр селекционных достижений РФ по Центральному и Волго-Вятскому регионам внесен новый сорт ярового ячменя Рафаэль. Заявка на селекционное достижение зарегистрирована 17.09.2019 года под номером 78963/8057530, патент № 12254.

Яровой ячмень Рафаэль, селекционный номер 35/1-09 h 662, получен в результате скрещивания германского сорта Ксанаду и селекционной линии 27/13-78 h 34 (Московский 121

(Россия) х Хайпроли (Эфиопия)), выделенной из генетической коллекции как источник комплексной устойчивости к гельминтоспориозу ячменя и почвенной засухе.

На основании данных экологического испытания (2014–2019 гг.) у сорта Рафаэль была установлена существенная прибавка урожайности относительно других районированных сортов в различных агроклиматических и почвенных условиях (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сортов в условиях Центрального региона в экологическом сортоиспытании, 2014–2019 гг.
Table 1. Productivity of the varieties in the conditions of the Central region in the Environmental Variety Testing, 2014–2019

Сорт	Московская область		Рязанская область		Средняя урожайность, т/га	ПУСС по Неттевичу, Моргунову
	урожайность, т/га	V, %	урожайность, т/га	V, %		
Яромир, ст.	5,96	26,5	6,76	18,2	6,32	100,0
Ксанаду	5,56	32,7	5,71	25,0	5,62	66,3
Владимир	6,14	27,4	5,94	18,3	6,05	91,0
Нур	6,34	22,5	6,37	24,6	6,37	104,5
Надежный	6,69	24,1	6,94	21,8	6,80	120,2
Знатный	6,11	25,5	7,04	15,1	6,52	132,6
Рафаэль	6,64	23,3	6,85	16,9	6,73	141,6
$\bar{x}$	6,20	26,0	6,52	20,0	6,34	108,0
σ	0,39	3,43	0,52	3,85	0,41	25,7
НСР ₀₅	2014	0,48	x	0,56	x	x
	2015	0,38	x	0,42	x	x
	2016	0,70	x	0,68	x	x
	2017	0,43	x	0,52	x	x
	2018	0,26	x	0,44	x	x
	2019	0,31	x	0,63	x	x

В сортоиспытании ФИЦ «Немчиновка» Рафаэль превысил среднесортное значение продуктивности на 0,44 т/га. Прибавка урожайности относительно стандарта составила 0,68 т/га, относительно исходной формы сорта Ксанаду – 1,08 т/га. На полях ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ новый сорт, превышая стандарт на 0,09 т/га, обеспечил среднюю урожайность на уровне 6,85 т/га. Таким образом, сорт превосходил среднесортное значение урожайности в двух пунктах испытания на 6,2–7,1 %, а материнской формы – на 19,4–19,8 %. Коэффициент вариации ($V = 16,9\text{--}23,3\%$) характеризует сорт Рафаэль как имеющий более слабую реакцию на колебания условий среды по сравнению с другими сортами опыта. Показатель уровня стабильности сорта всецело подтвердил его

высокую адаптивную способность к условиям региона (ПУСС = 141,6 %).

При передаче на Государственное сортоиспытание (2017–2019 гг.) сорт Рафаэль показал значительную прибавку по урожайности в сравнении со стандартом. В условиях Московской области урожайность составила 6,26 т/га (+0,69 т/га относительно стандарта), в условиях Рязанской области – 6,47 т/га (+0,32 т/га относительно стандарта). Сравнительная оценка выявила более высокую устойчивость к засухе и полеганию по сравнению со стандартным сортом на 0,4–1,3 балла и более слабое поражение на естественном фоне наиболее агрессивными болезнями ячменя на 0,13–12,0 % (табл. 2).

Таблица 2. Хозяйственно-биологические признаки нового сорта Рафаэль на момент передачи на Государственное сортоиспытание, 2017–2019 гг.
Table 2. Economic and biological traits of the new variety 'Rafael' when sending to the State Variety Testing, 2017–2019

Показатели	$\bar{x}$	min–max	$\bar{x}$	min–max	± к стандарту
	Рафаэль		Яромир		
Урожайность, т/га, ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка»	6,26	5,02–8,69	5,57	4,60–7,33	+0,69
Урожайность, т/га, ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ	6,47	6,14–6,70	6,15	6,03–6,22	+0,32
Содержание белка, %	11,0	10,4–11,8	12,6	11,1–14,0	–1,6
Экстрактивность, %	81,7	80,7–82,6	79,8	78,8–80,5	+1,9
Натура зерна, г/л	704	675–722	707	689–716	–0,5
Способность прорастать за 120 ч, %	98,0	97,0–99,6	94,1	86,0–98,2	+3,9
Вегетационный период, дни	85	81–88	89	85–91	-5,0
Высота растения, см	68,7	55–87	74,0	58–100	–4,6
Устойчивость к полеганию, балл	9,0	9,0	8,7	7,0–9,0	+0,4
Устойчивость к засухе, балл	9,0	9,0	7,7	8,0–7,0	+0,5
Поражаемость мучнистой росой, %	3,0	1–5	5,0	2–10	–5,0
Поражаемость темно-бурой пятнистостью, %	4,7	3–7	16,7	10–25	–8,3
Поражаемость пыльной головней, %	0,01	0,00–0,02	0,14	0,09–0,20	–0,12

На рисунке 3 представлены колос и растение сорта Рафаэль.



Рис. 3. Колос и растение ячменя ярового Рафаэль
Fig. 3. A head and a plant of the barley variety 'Rafael'

Средняя урожайность в годы Государственного сортоиспытания (2020–2021 гг.) по Центральному региону составила 3,59 т/га, Волго-Вятскому – 3,61 т/га. В Рязанской области прибавка к среднему стандарту составила 0,31 т/га, в Республике Марий Эл к стандарту Родник Прикамья – 0,26 т/га при урожайности 4,94 и 3,51 т/га соответственно. Максимальная урожайность (6,45 т/га) получена в Рязанской

области в 2020 году. Направление использования сорта – зернофуражное.

Анализ структурных элементов урожайности сорта Рафаэль показывает, что существенный вклад в продуктивность данного сорта вносят следующие элементы: количество зерен в колосе ($r = +0,98$), длина колоса ($r = +0,89$) и масса зерна с колоса ($r = +0,78$). Имеется средняя сопряженность урожайности с массой 1000 зерен ($r = +0,42$) (табл. 3).

Таблица 3. Элементы продуктивности сорта Рафаэль (ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), 2019–2021 гг.
Table 3. Yield structure elements of the variety 'Rafael' (ISPA, a branch of FSBSI FRAEC VIM), 2019–2021

Годы	Длина колоса, см	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
2019	8,0	20,9	1,01	47,2
2020	6,6	19,5	0,84	36,9
2021	7,6	20,9	0,93	38,0
Среднее	7,4	20,4	0,93	40,7
Корреляция с урожайностью, г	+0,89*	+0,98*	+0,78*	+0,42

Примечание. * – доверительная вероятность $P \geq 0,95$ / Confidence probability $P \geq 0,95$.

Особым спросом на рынке семян у российских товаропроизводителей пользуются сорта Нур и Владимир (Ерошенко и др., 2021). Данные таблицы 4 констатируют, что сорт Рафаэль значительно превышает по урожайности указанные сорта – на 0,67–0,82 т/га, или на 12,0–15,0 % соответственно. Имеет преимущество по урожайности относительно ранее созданных сор-

тов Знатный и Надежный на 3,9–7,3 % соответственно. При ежегодном использовании одинаковой агротехники, не мешающей проявлению хозяйственно-биологических особенностей изучаемых генотипов, можно утверждать, что отмеченный положительный тренд урожайности обусловлен повышением адаптивного потенциала новых сортов (Левакова, 2021).

Таблица 4. Урожайность нового сорта Рафаэль в сравнении с районированными сортами (ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), 2019–2021 гг.
Table 4. Productivity of the new variety 'Rafael' in comparison with the zoned varieties (ISPA, a branch of FSBSI FRAEC VIM), 2019–2021

Сорт	Год районирования	Регионы допуска	Урожайность, т/га				Прибавка к сортам
			2019 г.	2020 г.	2021 г.	$\bar{x}$	
Яромир, ст.	2013	1, 2, 3, 4	6,19	5,97	6,41	6,19	+0,11
Нур	2002	1, 2, 3, 4, 7	5,82	4,66	5,96	5,48	+0,82

Продолжение табл. 4

Сорт	Год районирования	Регионы допуска	Урожайность, т/га				Прибавка к сортам
			2019 г.	2020 г.	2021 г.	$\bar{x}$	
Ксанаду	2006	5	5,35	5,54	4,98	5,29	+1,01
Владимир	2007	2, 3, 4, 5	6,04	5,53	5,31	5,63	+0,67
Надежный	2017	2, 3, 4	6,26	5,05	6,31	5,87	+0,43
Знатный	2020	3	6,56	5,34	6,28	6,06	+0,24
Рафаэль	2022	3, 5	6,70	5,08	7,11	6,30	–
Среднее	–	–	6,13	5,31	6,05	5,83	+0,55
НСР ₀₅	–	–	0,63	0,76	0,67	–	–

На первое место при оценке экономической эффективности использования сортов выходит окупаемость затрат на их возделывание. Исходя из рыночной стоимости продукции (при продаже фуражного зерна ячменя по 8300 руб. за тонну), производственных затрат и урожайности, расчет экономической

эффективности, представленный в таблице 5, показал, что при возделывании нового сорта Рафаэль получен наибольший условно чистый доход – 19709 руб./га. Уровень рентабельности у нового сорта оказался на 17,0–20,8 % выше в сравнении с наиболее распространенными сортами Нур и Владимир.

Таблица 5. Экономическая эффективность внедрения сорта Рафаэль в сравнении с самыми распространенными сортами
Table 5. Economic efficiency of the introduction of the variety 'Rafael' in comparison with the most widespread varieties

Показатель	Сорт		
	Нур	Владимир	Рафаэль
Урожайность, т/га	5,48	5,63	6,30
Прибавка урожайности, т/га	–	–	0,82*/0,67**
Средняя цена зерна, руб./т	8300	8300	8300
Стоимость продукции, руб./га	45484	46729	52290
Производственные затраты, руб./га	32581	32581	32581
Себестоимость зерна, руб./т	5945	5787	5172
Уровень снижения себестоимости, %	–	–	13,0*/10,6**
Условно чистый доход, руб./га	12903	14148	19709
Уровень рентабельности, %	39,6	43,4	60,4

Примечание. * – в сравнении с сортом Нур; ** – в сравнении с сортом Владимир.

Выводы. В результате экологического сортоиспытания в Центральном регионе выявлен высокий показатель уровня стабильности сорта Рафаэль (ПУСС = 141,6 %) при средней урожайности 6,73 т/га, превосходящей стандартный сорт на 0,41 т/га и невысокий коэффициент вариации ($V = 16,9–23,3$ %), что указывает на адаптивность сорта к условиям среды региона. Выявлено преимущество нового сорта по устойчивости к засухе и полеганию на 0,4–1,3 балла и меньшая поражаемость на естественном фоне наиболее агрес-

сивными болезнями ячменя на 0,13–12,0 % по сравнению со стандартным сортом. Расчет экономической эффективности показал повышенную на 17,0–20,8 % рентабельность нового сорта по сравнению с широко распространенными сортами. Внедрение в производство данного сорта позволит существенно увеличить и стабилизировать валовые сборы зерна ячменя в Центральном и Волго-Вятском регионах России, повысить доходность предприятий и обеспечить кормопроизводящую промышленность отечественным сырьем.

Библиографические ссылки

1. 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. DOI: 10.18699/VJ19.469.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахина В. В., Болдырев М. А. Ретроспективный анализ адаптивных свойств сортов ячменя селекции ФИЦ «Немчиновка» // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22(4). С. 485–494. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.485-494.
4. Левакова О. В. Селекционная работа по созданию адаптированных к Нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 14–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19.
5. Левакова О. В., Дедушев И. А., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Болдырев М. А., Гладышева О. В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую

продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, № 1. С. 128–135. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135.

6. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: ООО «Группа Компаний Море», 2019. Вып. 1. 384 с.

7. Неттевич Э.Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центральном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства // Доклады РАСХН. 2001. № 3. С. 3–6.

8. Носков А.Н., Батакова О.Б., Корелина В.А. Сравнительная оценка гибридных форм ярового ячменя по урожайности и адаптивным свойствам в условиях Северного региона РФ // Земледелие. 2022. № 1. С. 35–38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-35-39.

9. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н., Засыпкина И.М. Сорт ярового ячменя Азимут // Зерновое хозяйство России. 2022. № 5. С. 91–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97.

10. Фирсова Т.И., Раева С.А. Использование сортовых ресурсов озимой пшеницы в Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2017. № 6. С. 43–48.

11. Eroshenko L. M., Levakova O. V., Gladysheva O. V., Gureeva E. V., Romakhin M. M., Dedushev I. A. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 843, Article number 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012005.

12. Sujetovienė G., Velička R., Kanapickas A., Kriauciūnienė Z., Romanovskaja D., Bakšienė E., Vagusevičienė I., Klepeckas M. and Juknys R. Climate-change-related long-term historical and projected changes to spring barley phenological development in Lithuania // The Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 156(9), P. 1061–1069. DOI: 10.1017/S0021859618000904.

References

1. Gudzenko V.N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh linii 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. DOI: 10.18699/VJ19.469.

2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

3. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V., Boldyrev M. A. Retrospektivnyi analiz adaptivnykh svoystv sortov yachmenya selektsii FITs «Nemchinovka» [Retrospective analysis of adaptive properties of barley varieties developed in the Federal Research Center «Nemchinovka»] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2021. № 22(4). S. 485–494. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.485-494.

4. Levakova O.V. Selektionnaya rabota po sozdaniyu adaptirovannykh k Nechernozemnoi zone RF sortov yarovogo yachmenya i perspektivy razvitiya dannoi kul'tury v Ryazanskoj oblasti [Breeding work on the development of spring barley varieties adapted to the Non-Blackearth zone of the Russian Federation and the prospects for the development of this grain crop in the Ryazan region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 1(73). S. 14–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19.

5. Levakova O.V., Dedushev I.A., Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko A.N., Eroshenko N.A., Boldyrev M.A., Gladysheva O.V. Vliyaniye agrometeorologicheskikh izmenenii klimata na zernovuyu produktivnost' yarovogo yachmenya v usloviyakh Nechernozemnoi zony RF [The effect of agrometeorological climate changes on the spring barley grain productivity under the conditions of the Non-Blackearth zone of the Russian Federation] // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. 2022. T. 17, № 1. С. 128–135. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135.

6. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of Agricultural Crops]. M.: ООО «Группа Компаний Море», 2019. Вып. 1. 384 с.

7. Неттевич Э.Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центрально-ном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства [Productivity potential of spring wheat and barley varieties recommended for cultivation in the Central region of the Russian Federation and its implementation under production conditions] // Doklady RASKhN. 2001. № 3. С. 3–6.

8. Noskov A. N., Batakova O. B., Korelina V. A. Sravnitel'naya otsenka gibridnykh form yarovogo yachmenya po urozhainosti i adaptivnym svoystvam v usloviyakh Severnogo regiona RF [Comparative estimation of spring barley hybrid forms according to productivity and adaptive properties in the conditions of the Northern region of the Russian Federation] // Zemledelie. 2022. № 1. С. 35–38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-1-35-39.

9. Filippov E. G., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Doroshenko E. S., Bragin R. N., Zasypkina I. M. Sort yarovogo yachmenya Azimut [The spring barley variety 'Azimut'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. № 5. С. 91–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97.

10. Firsova T. I., Raeva S. A. Ispol'zovanie sortovykh resursov ozimoi pshenitsy v Rostovskoi oblasti [The use of winter wheat varietal resources in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 6. С. 43–48.

11. Eroshenko L. M., Levakova O. V., Gladysheva O. V., Gureeva E. V., Romakhin M. M., Dedushev I. A. The elements of productivity and their contribution to high level of crop yield // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 843, Article number 012005. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012005.

12. Sujetovienė G., Velička R., Kanapickas A., Kriauciūnienė Z., Romanovskaja D., Bakšienė E., Vagusevičienė I., Klepeckas M. and Juknys R. Climate-change-related long-term historical and projected changes to spring barley phenological development in Lithuania // The Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 156(9), R. 1061–1069. DOI: 10.1017/S0021859618000904.

Поступила: 27.10.22; доработана после рецензирования: 7.12.22; принята к публикации: 28.12.22.

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. Левакова О. В., Гладышева О. В., Ерошенко Л. М. – концептуализация исследования; Левакова О. В., Ерошенко Л. М. – подготовка опыта, выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Левакова О. В., Гладышева О. В., Ерошенко Л. М. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПОДБОР СОРТОВ СОРГОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА РОССИИ

Н. А. Ковтунова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;
В. В. Ковтунов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;
А. Е. Романюкин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4349-8489;
В. А. Шуршалин, агроном лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ORCID ID: 0000-0001-7470-6338;
Г. М. Ермолина, кандидат сельскохозяйственных наук, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ORCID ID: 0000-0003-0168-5966
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Решить проблему урожайности и увеличения валового сбора продукции сельскохозяйственных культур можно путем внедрения в производство новых сортов и гибридов, адаптированных к условиям возделывания. Разнообразие сортового состава сорговых культур обуславливает необходимость тщательного подхода при подборе сортов. Особенно это важно для Северо-Кавказского региона, характеризующегося контрастными природно-климатическими условиями. Цель исследований – провести анализ имеющегося ассортимента сортов сорго зернового, сахарного, травянистого, выделить сорта, рекомендованные для возделывания по Северо-Кавказскому региону. Работа по созданию сорговых культур проведена в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в соответствии с Методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. Выявлено, что для возделывания по Северо-Кавказскому региону РФ с 2013 г. допущено к использованию 20 сортов и гибридов сорго зернового российских оригинаторов; по сорго сахарному – 7; по суданской траве – 6; по сорго-суданковым гибридам – 7. В «АНЦ «Донской» с 2013 г. созданы и внесены в реестр по два сорта сорго зернового, сахарного и суданской травы, один сорго-суданковый гибрид. Созданные сорта сорго зернового Зерноградское 88, Есаул селекции АНЦ «Донской» отличаются высокой урожайностью зерна (5,–6,2 т/га) и рекомендуются для использования в кормовых и пищевых целях. Сорта сорго сахарного Феникс и Южное характеризуются высокой урожайностью зеленой массы на силос – 37–45 т/га и хорошими кормовыми качествами, что позволяет их использовать для получения силоса. Сорта суданской травы Алиса и Грация позволяют получать два укоса высококачественного зеленого корма (39–44 т/га) и сена (12,0–13,2 т/га). Сорго-суданковый гибрид Добрыня F1 имеет урожайность зеленой массы за два укоса 55–61 т/га и рекомендуется для использования на зеленый корм, сено, силос.

Ключевые слова: сорго зерновое, сорго сахарное, суданская трава, сорго-суданковый гибрид, Государственный реестр, урожайность.

Для цитирования: Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Шуршалин В. А., Ермолина Г. М. Подбор сортов сорговых культур для Северо-Кавказского региона России // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 50–55. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-50-55.



SELECTION OF GRAIN SORGHUM VARIETIES FOR THE NORTH CAUCASIAN REGION OF RUSSIA

N. A. Kovtunova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;
V. V. Kovtunov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;
A. E. Romanyukin, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4349-8489;
V. A. Shurshalin, agronomist of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-7470-6338;
G. M. Ermolina, Candidate of Agricultural Sciences, technician-researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-0168-5966
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

It is possible to solve the problem of productivity and improve the gross harvest of agricultural products by introducing new varieties and hybrids adapted to the conditions of cultivation into production. The diversity of the varietal composition of sorghum crops necessitates a careful approach in the selection of varieties. This is especially important for the North Caucasus region, which is characterized by contrasting natural and climatic conditions. The purpose of the current study was to analyze the existing varietal range of grain, sweet, grass sorghum, to identify varieties recommended for cultivation in the North Caucasus region. The work on the development of sorghum crops was

carried out at the Federal State Budgetary Scientific Institution "ARC "Donskoy" in accordance with the Methodology of the State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops. There has been found that since 2013 20 grain sorghum varieties and hybrids of Russian originators (7 sugar sorghum varieties, 6 Sudan grass varieties, 7 sorghum-Sudan hybrids) have been approved for cultivation in the North Caucasus region of the Russian Federation. Since 2013 2 grain sorghum varieties, 2 sweet and Sudan grass varieties, 1 sorghum-Sudan hybrid have been developed and introduced into the Register at ARC "Donskoy". There have been developed grain sorghum varieties 'Zernogradskoye 88', 'Esaul' which are distinguished by high grain productivity of 5.0–6.2 t/ha and have been recommended for use for feed and food purposes. Sweet sorghum varieties 'Feniks' and 'Yuzhnoe' have been characterized by a large productivity of green mass for silage (37–45 t/ha) and good feed qualities, which allows them to be used for silage production. Sudan grass varieties 'Alisa' and 'Gratsiya' have made it possible to obtain 2 cuttings of high-quality green fodder (39–44 t/ha) and hay (12.0–13.2 t/ha). The sorghum-Sudan hybrid 'Dobrynya F1' has 55–61 t/ha of green mass for two cuttings and could be recommended for use for green fodder, hay, silage.

Keywords: grain sorghum, sweet sorghum, Sudan grass, sorghum-Sudan hybrid, State List, productivity.

Введение. Рост урожайности и увеличение валового сбора продукции всегда остается главной задачей сельского хозяйства. Одним из путей решения этого вопроса является внедрение в сельскохозяйственное производство новых сортов или гибридов, приспособленных к условиям возделывания. Ведь именно наследственные хозяйственно ценные свойства сортов определяют урожайность культуры. Замена старых сортов новыми (сортосмена) обеспечивает повышение урожайности на 10–40 %. Такой эффект достигается благодаря ценным хозяйственно-биологическим особенностям сорта, не требующим дополнительных затрат (Биктимиров и др., 2019; Верхоламошкин и др., 2021; Kovtunov et al., 2021). Разнообразие сортового состава сорговых культур обуславливает необходимость особо тщательного подхода при подборе сортов для условий конкретной зоны. Особенно важно это для Северо-Кавказского региона, характеризующегося контрастными природно-климатическими условиями. На территории Северного Кавказа имеется остро-засушливая, засушливая, зона неустойчивого увлажнения и влажная зона, а годовое количество осадков в остро-засушливой зоне ниже 300 мм. Это подтверждает значимость правильного подбора сортов или гибридов сельскохозяйственных культур для каждой зоны возделывания и своевременной сортосмены для повышения продуктивности (Беляков, 2020; Барановский, 2019). Наибольшая адаптивность к условиям выращивания наблюдается у сортов, созданных в тех же условиях, где они позже возделываются.

Цель исследований – провести анализ имеющегося ассортимента сортов сорго зернового, сахарного, травянистого, выделить сорта для возделывания в условиях Северо-Кавказского региона РФ.

Материалы и методы исследований.

Работу по созданию и выращиванию сорговых культур проводили в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (Ростовская область). Закладку опытов, учеты и наблюдения осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками (Методика государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур; Доспехов, 2014). Посев проводили в первой-второй декадах мая (оптимальные сроки) широкорядным способом с нормой высева для сорго зернового 280 тыс. шт./га;

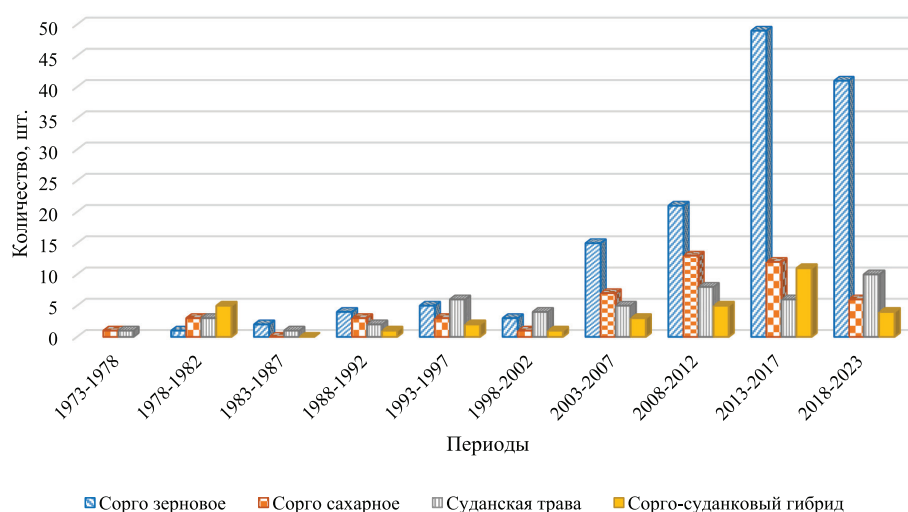
для сорго сахарного – 200 тыс. шт./га и обычным рядовым для суданской травы и сорго-суданковых гибридов – 1,6 млн шт./га.

Метеорологические условия в годы проведения исследований (2019–2022) были разнообразными, что позволило изучить сорта в различных условиях. ГТК за период май–сентябрь в 2019 г. составило 0,63, в 2020 г. – 0,68, в 2021 г. – 0,82, в 2022 г. – 0,52, что говорит о средней засушливости и недостаточном увлажнении (2021 г.). Однако распределение осадков в период вегетации было неравномерным, и большая часть выпала в виде ливневых дождей. Пониженная температура воздуха в 2020 и 2022 гг. отрицательно сказалась на темпах начального роста, что привело к удлинению вегетационного периода.

Результаты и их обсуждение. По данным Госреестра селекционных достижений РФ на 2022 год и Протокола № 10 порядка проведения Экспертной комиссии по зерновым, зернобобовым и крупяным культурам от 15.12.2022 г. на 2023 год допущено к использованию 142 сорта и гибрида сорго зернового, 52 – сахарного, 49 сортов суданской травы и 33 сорго-суданковых гибридов. Однако только 63,4 % (90 шт.); 34,6 % (18 шт.); 32,7 % (16 шт.) и 45,5 % (15 шт.) соответственно из них допущены к использованию с 2013 г., в том числе 39, 4, 8 и 3 шт. – с 2018 г. (см. рис.). В реестре имеются сорта, созданные более 50 лет назад. Среди них сорт сорго зернового Кубанское красное 1677 (1939 г.), сорго сахарного Красный янтарь (1951 г.), суданской травы Черноморка (1951 г.).

Следует отметить, особенно по сорго зерновому, что наблюдается тенденция к увеличению сортов, оригинаторами которых являются иностранные фирмы. Так, если до 2013 г. иностранных сортов, внесенных в реестр, наблюдалось всего 6, то к 2017 г. – 28, а к 2022 г. – уже 47. По мнению Е.В. Журавлевой, выращивание иностранных сортов приводит не только к перетеканию значительной части прибавочной стоимости на счета иностранных оригинаторов (фирм) сортов, но и к снижению эффективности отечественной экономики (Журавлева и др., 2018).

Так, для возделывания по Северо-Кавказскому (6) региону РФ допущено (2013–2023 гг.) 72 сорта и гибрида сорго зернового, 27 сортов сорго сахарного, 12 сортов и 17 гибридов сорго травянистого (табл. 1).



Распределение сортов сорговых культур, допущенных к использованию по годам
(по данным Госреестра селекционных достижений РФ на 2022 год и Протокола № 10
порядка проведения Экспертной комиссии по зерновым, зернобобовым и крупяным культурам от 15.12.2022)
Distribution of sorghum varieties approved for use by years
(according to the State List of Breeding Achievements of the Russian Federation for 2022 and Protocol No. 10
of the procedure for holding the Expert Commission on grain, leguminous and cereal crops dated 12/15/2022.)

**Таблица 1. Характеристика сортов и гибридов
по видам сорго и регионам допуска***
**Table 1. Characteristics of sorghum varieties and hybrids
according to types and regions of admission***

Показатель	Сорго зерновое	Сорго сахарное	Суданская травы	Сорго-суданковый гибрид
Общее количество сортов и гибридов в Государственном реестре селекционных достижений РФ, шт.	142	52	49	33
Количество сортов и гибридов, допущенных к использованию по 6 региону РФ, шт.	72	27	12	17
в том числе				
– с 2013 г. (с 2018 г.)	51 (19)	7(5)	6(4)	9(2)
– с 2013 г. (с 2018 г.) российских оригинаторов	20 (4)	7 (5)	6 (4)	7(2)
– с 2013 г. селекции «АНЦ «Донской»	2	2	2	1

Примечание. * – по данным Госреестра селекционных достижений РФ на 2022 год и Протокола №10 порядка проведения Экспертной комиссии по зерновым, зернобобовым и крупяным культурам от 15.12.2022 г.

При этом среди них только 20 сортов и гибридов сорго зернового российских оригинаторов (или 39 % от общего количества, допущенных к использованию по 6 региону за данный период), 7 – сорго сахарного, 6 – суданской травы и 7 – сорго-суданковых гибридов, а за период 2018–2023 гг. эти показатели составили 4, 5, 4 и 2 сорта и гибрида соответственно. Среди них по два сорта сорго зернового (Зерноградское 88, Есаул), сахарного (Южное, Феникс), суданской травы (Алиса, Грация) и сорго-суданковый гибрид Добрыня F₁ селекции «АНЦ «Донской».

Селекционная работа в центре по сорго зерновому направлена на создание адаптивных сортов и гибридов, обладающих, помимо высокой урожайности зерна, качеством (белок, крахмал), что позволяет зерно использовать не только на корм, но и в пищевой промышленности (получение спирта, крахмала) (Ковтунов, 2018.). С 2013 г. создано 3 сорта сорго зернового – Зерноградское 88, Атаман и Есаул. Сорт Атаман допущен к использованию по Нижне-Волжскому региону РФ, Зерноградское 88 и Есаул – по Северо-Кавказскому региону. Их характеристика приведена в таблице 2.

**Таблица 2. Характеристика сортов сорго зернового селекции «АНЦ «Донской»,
допущенных к использованию по Северо-Кавказскому региону РФ (2019–2023 гг.)**
**Table 2. Characteristics of grain sorghum varieties of the ARC “Donskoy”,
approved for use in the North Caucasus region of the Russian Federation (2019–2023)**

Показатель	Зерноградское 88	Есаул
Вегетационный период, дни	94–96	97–101
Высота растений, см	92–100	110–115
Масса 1000 зерен, г	26–32	42–45
Урожайность зерна, т/га	5,0–5,6	5,7–6,2
Содержание крахмала в зерне, %	11,7–13,4	12,3–13,1
Содержание белка в зерне, %	72,4–78,0	72,5–75,6

Сорт Зерноградское 88 допущен к использованию с 2013 года. Сорт раннеспелый, низкорослый, имеет хорошо выдвинутую метелку, что говорит о пригодности к механизированной уборке. Зерно белое, с массой 1000 зерен 26–32 г. Средняя урожайность (2019–2022 гг.) 5,0–5,6 т/га. Не содержит танинов в зерне.

Сорт Есаул внесен в Государственный реестр селекционных достижений РФ с 2023 г. по 6 и 8 регионам РФ. Сорт низкорослый, вегетационный период составляет 97–101 день. Зерно белое, голозерное, масса 1000 зерен 42–45 г. Урожайность зерна за годы испытаний составила 5,7–6,2 т/га.

Сорта сорго зернового устойчивы к поражению пыльной головней, бактериозом и по-

вреждению злаковой тлей. Пригодны для получения крахмала и спирта, их охотно поедают сельскохозяйственные животные и птица.

Основными направлениями селекции сорго сахарного являются, помимо урожайности зеленой массы на силос и сухого вещества, высокая облиственность, пригодность к механизированной уборке (высота до 2 м), выравненность главного стебля и подгона, устойчивость к полеганию, болезням и вредителям (Романюкин и др., 2022). В 2021 г. в Государственный реестр селекционных достижений РФ внесены два сорта сорго сахарного – Южное и Феникс, допущенные к использованию по Северо-Кавказскому региону. Их характеристика приведена в таблице 3.

Таблица 3. Характеристика сортов сорго сахарного селекции «АНЦ «Донской», допущенных к использованию по Северо-Кавказскому региону РФ (2019–2022 гг.)
Table 3. Characteristics of sweet sorghum varieties of the ANC “Donskoy” approved for use in the North Caucasus region of the Russian Federation (2019–2022)

Показатель	Южное	Феникс
Продолжительность вегетационного периода, дни	100–105	110–112
Продолжительность периода «всходы–молочно-восковая спелость» (уборка на силос), дни	95–97	100–105
Количество листьев, шт.	11	14
Облиственность, %	34–38	38–45
Содержание сахаров в соке стеблей, %	12–14	10–12
Урожайность зеленой массы на силос, т/га	37–40	42–45
Урожайность сухого вещества, т/га	12,1–13,8	13,5–16,0
Сбор переваримого протеина, т/га	0,9–1,2	1,1–1,4

Сорт Южное раннеспелый, высокорослый, хорошо облиственный, отличается высокой интенсивностью начального роста. Урожайность зеленой массы на силос в годы исследований (2019–2022) варьировала от 37 до 40 т/га, сухого вещества – от 12,1 до 13,8 т/га, сбор переваримого протеина имел значения 0,9–1,2 т/га. Содержание сырого протеина в сухом веществе – 7,6–8,1 %, сахаров в соке стеблей – 12–14 %.

Сорт Феникс среднеспелый, хорошо облиственный (38–45 %), высокорослый, устойчив к полеганию. Урожайность зеленой массы на силос (2019–2022 гг.) варьировала от 42 до 45 т/га, сухого вещества – от 13,5 до 16,0 т/га, сбор переваримого протеина – 1,1–1,4 т/га. Содержание сырого протеина в сухом веществе – 7,2–7,9 %, сахаров в соке стеблей – 10–12 %.

Сорта сорго сахарного предназначены для приготовления силоса, слабо поражаются бактериозом и пыльной головней, засухоустойчивы.

Основными задачами в селекции сорго травянистого являются повышение урожайности и качества зеленой массы, интенсивности начального роста и послеуборочного отрастания (Шишова и др., 2020). С 2019 г. сорт суданской травы селекции «АНЦ «Донской» Алиса, с 2020 г. – сорт Грация, с 2023 г. – сорго-суданковый гибрид Добрыня F₁ допущены для возделывания по Северо-Кавказскому, Нижневолжскому и Центрально-Черноземному регионам РФ. Новые сорта суданской травы и гибрид отвечают всем вышеперечисленным требованиям.

Сорт Алиса отличается высокорослостью, кустистостью, хорошей облиственностью. Относится к среднеспелой группе созревания. Урожайность зеленой массы в сумме за два укоса (2019–2022 гг.) – 40–44 т/га, абсолютно сухого вещества – 12,1–13,0 т/га (табл. 4).

Таблица 4. Характеристика сортов суданской травы и сорго-суданкового гибрида селекции «АНЦ «Донской», допущенных к использованию по Северо-Кавказскому региону РФ (2019–2022 гг.)
Table 4. Characteristics of Sudan grass varieties and sorghum-Sudan hybrid of the ANC “Donskoy” approved for use in the North Caucasus region of the Russian Federation (2019–2022)

Показатель	Алиса	Грация	Добрыня F ₁
Продолжительность периода «всходы–выметывание», дни	46–48	48–53	56–60
Продолжительность вегетационного периода, дни	88–93	88–90	–
Кустистость, стеблей/растение	2–3	3–4	2–4
Облиственность, %	32–36	36–38	38–45

Продолжение табл. 4

Показатель	Алиса	Грация	Добрыня F ₁
Высота растений в фазу «выметывание – полная спелость», дни	130–160 200–250	130–150 200–240	120–140 210–240
Урожайность зеленой массы в сумме за два укоса, т/га	40–44	39–43	55–61
Урожайность сухого вещества, т/га	12,1–13,0	12,6–13,2	12,5–13,6
Сбор переваримого протеина, т/га	1,05–1,22	1,15–1,34	1,10–1,43

Сорт Грация, кроме хорошей облиственности, характеризуется тонкостебельностью и кустистостью. Также относится к среднеспелой группе созревания. Урожайность зеленой массы за два укоса имеет значения 39–43 т/га, абсолютно сухого вещества – 12,6–13,2 т/га, сбор переваримого протеина – 1,15–1,34 т/га.

Новый сорго-суданковый гибрид Добрыня F₁ получен при межвидовой гибридизации ЦМС-линии сорго сахарного АПВ-1115 с и перспективного урожайного сорта суданской травы Светлопленчатая 2. Гибрид среднеспелый, высокорослый, хорошо облиственный, сочно-стебельный. Содержание сахаров в соке стеблей составляет 6–7 %, что делает растения хорошим молокогонным кормом. Гибрид позволяет получать два полноценных укоса зеленой массы (55–61 т/га).

Сорта суданской травы и сорго-суданковый гибрид устойчивы к поражению пыльной головней, практически устойчивы к поражению бактериозом. Предназначены для употребления на зеленый корм и сено.

Выводы.

1. Сорта сорго зернового селекции АНЦ «Донской» Зерноградское 88, Есаул отличаются

ся высокой урожайностью зерна (5,0–6,2 т/га) и рекомендуются к использованию не только на кормовые цели, но и, благодаря повышенному содержанию крахмала в зерне, в пищевой промышленности (получение спирта и крахмала).

2. Сорта сорго сахарного Феникс и Южное характеризуются высокой урожайностью зеленой массы на силос – 37–45 т/га и хорошими кормовыми качествами с содержанием сахаров в соке стеблей до 13 %, что позволяет их использовать для получения силоса.

3. Сорта суданской травы Алиса и Грация позволяют получать два укоса высококачественного зеленого корма и сена. Урожайность зеленой массы за два укоса составляет 39–44 т/га, сухого вещества – 12,1–13,2 т/га.

4. Сорго-суданковый гибрид Добрыня F₁ имеет урожайность зеленой массы за два укоса 55–61 т/га, сухого вещества – 13,5–14,6 т/га и характеризуется сочно-стебельностью, что позволяет использовать его не только на зеленый корм, сено, но и на силос.

Библиографические ссылки

1. Барановский А. В. Совершенствование основных элементов технологии возделывания зернового сорго гибрида Свифт в засушливых условиях Донбасса // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2(76). С. 69–72.
2. Беляков А. М. Система сортоиспытания как фактор обеспечения роста продуктивности сельскохозяйственных культур // Научно-агрономический журнал. 2020. № 1–1(108). С. 31–34. DOI: 10.34736/FNC.2020.108.1.006.31-34.
3. Биктимиров Р. А., Шакирзянов А. Х., Низаева А. А. Экологическая стабильность кормового сорго в Республике Башкортостан // Достижения науки и техники. 2019. Т. 33, № 8. С. 46–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10810.
4. Верхоламошкин С. В., Бельченко С. А., Васькина Т. И. Агроэкологическое испытание сортов и гибридов сорго кормового [SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH] в условиях юго-западной части Центральной России // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 27–38.
5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 646 с. Режим доступа: <https://dachanadvoih.ru/wp-content/uploads/2022/11/gosreestr-rus.pdf>.
6. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
7. Журавлева Е. В., Кабунин А. А., Кабунина И. В. Аспекты организации селекции и семеноводства картофеля в России – проблемы и возможные пути их решения // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 10. С. 5–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11001.
8. Ковтунов В. В. Посевная площадь и урожайность сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2018. № 3(57). С. 47–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49.
9. Протокол № 10 порядка проведения Экспертной комиссии по зерновым, зернобобовым и крупяным культурам от 15.12.2022. Режим доступа: <https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2022/12/ПРОТОКОЛ%20№10.pdf>.
10. Романюкин А. Е., Ковтунова Н. А., Шуршалин В. А., Ермолина Г. М. Изменчивость основных элементов продуктивности сахарного сорго // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 3. С. 69–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-69-76.
11. Шишова Е. А., Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А. Подбор родительских пар и изучение новых сорго-суданковых гибридов. Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 65–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-65-68.

12. Kovtunov V.V., Kovtunova N.A., Popov A.S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 84, Article number 012007 DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007.

References

1. Baranovskii A.V. Sovershenstvovanie osnovnykh elementov tekhnologii vozdeleyvaniya zernovogo sorgo gibrida Svift v zasushlivykh usloviyakh Donbassa [Improvement of the main cultivation technology elements of a grain sorghum hybrid 'Swift' in arid conditions of Donbass] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 2(76). S. 69–72.
2. Belyakov A.M. Sistema sortoispytaniya kak faktor obespecheniya rosta produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The system of variety testing as a factor in ensuring productivity improvement of agricultural crops] // Nauchno-agronomicheskii zhurnal. 2020. № 1–1(108). S. 31–34. DOI: 10.34736/FNC.2020.108.1.006.31-34.
3. Biktimirov R.A., Shakirzyanov A.Kh., Nizaeva A.A. Ekologicheskaya stabil'nost' kormovogo sorgo v respublike Bashkortostan [Environmental stability of fodder sorghum in the Republic of Bashkortostan] // Dostizheniya nauki i tekhniki. 2019. T. 33, № 8. S. 46–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10810.
4. Verkholamochkin S.V., Bel'chenko S.A., Vas'kina T.I. Agroekologicheskoe ispytanie sortov i gibridov sorgo kormovogo [SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH] v usloviyakh yugo-zapadnoi chasti Tsentral'noi Rossii [Agroecological testing of fodder sorghum varieties and hybrids [SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH] in the conditions of the southwestern part of Central Russia] // Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaystvennoi akademii. 2021. № 3. S. 27–38.
5. State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1. "Plant varieties" (official publication). – Moscow: FGBNU «Rosinformagrotech», 2022. 646 pp. <https://dachanadvoih.ru/wp-content/uploads/2022/11/gosreestr-rus.pdf>.
6. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) (Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results). M.: Al'yans, 2014. 351 s.
7. Zhuravleva E.V., Kabunin A.A., Kabunina I.V. Aspekty organizatsii selektsii i semenovodstva kartofelya v Rossii – problemy i vozmozhnye puti ikh resheniya [Organizational aspects of potato breeding and seed production in Russia: problems and possible solutions] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 10. S. 5–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-11001.
8. Kovtunov V.V. Posevnaya ploshchad' i urozhnost' sorgo zernovogo [Grain sorghum sown area and productivity] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2018. № 3(57). S. 47–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-47-49.
9. Protocol № 10 of the procedure for holding the Expert Commission on grain, leguminous and cereal crops dated 12/15/2022. <https://gossortf.ru/wp-content/uploads/2022/12/ПРОТОКОЛ%20№10.pdf>.
10. Romanyukin A.E., Kovtunova N.A., Shurshalin V.A., Ermolina G.M. Izmenchivost' osnovnykh elementov produktivnosti sakharnogo sorgo [Variability of the main elements of sweet sorghum productivity] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2022. T. 14, № 3. S. 69–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-69-76.
11. Shishova E.A., Kovtunov V.V., Kovtunova N.A. Podbor roditel'skikh par i izuchenie novykh sorgo-sudankovykh gibridov [Selection of parental pairs and study of new sorghum-Sudanese hybrids] // Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2020. №4(70). S. 65–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-65-68.
12. Kovtunov V.V., Kovtunova N.A., Popov A.S. The indices of sorghum seed quality in dependence on ecological and geographical origin. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 84, Article number 012007. DOI: 10.1088/1755-1315/843/1/012007.

Поступила: 18.01.23; доработана после рецензирования: 02.01.23; принята к публикации: 02.02.23.

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. – концептуализация исследований, подготовка рукописи, закладка и выполнение полевых опытов по сорго кормовому; Ковтунов В.В. – концептуализация исследований, подготовка рукописи, закладка и выполнение полевых опытов по сорго зерновому; Романюкин А.Е. – анализ данных, подготовка данных; Шуршалин В.А. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных; Ермолина Г.М. – закладка и выполнение полевых опытов, составление и анализ табличного материала.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА СОРТОВ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ УРОЖАЙНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЯМ АДАПТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ДОНА

И. М. Засыпкина, аспирант, агроном, селекции и семеноводства озимого ячменя, irinka_kolosok92@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1281-5317;

Е. Г. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926

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

В современных условиях селекция озимого ячменя направлена на создание высокоурожайных сортов, адаптивных к сюрпризам природы. Помимо характеристик сорта и условий внешней среды, значительное влияние на урожайность оказывает культура, предшествовавшая посеву. Цель исследований – определение адаптивных свойств сортов озимого ячменя по урожайности и параметрам пластичности в условиях Нижнего Дона. Для изучения данного вопроса в 2020–2022 гг. проводили исследования по оценке параметров адаптивности 20 сортов озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по различным предшественникам (черный пар, горох, подсолнечник). Площадь делянки 10 м², повторность 4-кратная, норма высева – 450 всх. семян/м². Для определения показателей гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности (Sc), стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$), коэффициента отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Kp) и показателя уровня стабильности сорта (ПУСС) применяли методики В. В. Хангильдина и Н. А. Литвиненко, А. А. Rosielle и J. Hamblina, В. А. Зыкина, Э. Д. Неттевича. В результате анализа за годы изучения в среднем по всем предшественникам наибольшая урожайность получена у сортов Маруся, Степ, Паллидум 2100. Также по всем предшественникам были выявлены сорта, отличающиеся высокими параметрами экологической пластичности и стабильности. К стабильным сортам относятся Параллелум 2016 и Параллелум 2017, которые рекомендуются использовать в селекционном процессе как источники высокой стрессоустойчивости, ценности генотипа, низкой вариабельности урожайности. Сорта Маруся, Степ и Паллидум 2100 относятся к группе пластичных, динамика урожайности этих сортов соответствовала изменениям условий выращивания, а для максимальной реализации уровня урожайности рекомендуется возделывание их на интенсивных предшественниках.

Ключевые слова: озимый ячмень, урожайность, сорт, экологическая пластичность, отзывчивость.

Для цитирования: Засыпкина И. М., Филиппов Е. Г. Оценка сортов озимого ячменя по величине урожайности и показателям адаптивности в условиях Нижнего Дона // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 56–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-56-63.



ESTIMATION OF WINTER BARLEY VARIETIES ACCORDING TO PRODUCTIVITY AND ADAPTABILITY INDICATORS IN THE CONDITIONS OF THE LOWER DON

I. M. Zasypkina, post graduate student, agronomist, irinka_kolosok92@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1281-5317;

E. G. Filippov, Candidate of Agricultural Sciences, docent, head of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926

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

Currently winter barley breeding is aimed at developing high-yielding varieties that are adaptive to the challenges of nature. In addition to the characteristics of the variety and environmental conditions, productivity is greatly influenced by a forecrop. The purpose of the current study was to determine the adaptive properties of winter barley varieties according to productivity and adaptability indicators in the conditions of the Lower Don. In order to study this issue, in 2020–2022 there was carried out a study to estimate the adaptability parameters of 20 winter barley varieties developed by the FSBSI “ARC “Donskoy” according to various forecrops (black fallow, peas, sunflower). The plot area was 10 m², with 4 repetitions and seeding rate of 450 germ.seed/m². In order to determine indicators of homeostaticity (Hom), breeding value (Sc), stress resistance ($Y_{\min} - Y_{\max}$) and genetic flexibility ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$), coefficient of responsiveness to favorable growing conditions (Kp) and index of variety stability level (VSL) there were applied the methods of V. V. Khangildin and N. A. Litvinenko, A. A. Rosielle and J. Hamblina, V. A. Zykin, E. D. Nettevich. The conducted analysis has shown that on average over the years of study for all forecrops, the largest productivity was given by such varieties as ‘Marusya’, ‘Step’, ‘Pallidum 2100’. Also, for all forecrops, there have been identified the varieties characterized with high parameters of environmental adaptability and stability. The stable varieties were ‘Parallelum 2016’ and ‘Parallelum 2017’, which could be recommended for use in the breeding process as sources of high stress resistance, genotype value, and low variability of productivity. The varieties ‘Marusya’, ‘Step’ and ‘Pallidum 2100’ belong to the adaptable group, the productivity dynamics of these varieties corresponded to changes in growing conditions, and in order to obtain maximum productivity, there has been recommended to cultivate them after intensive forecrops.

Keywords: winter barley, productivity, variety, environmental adaptability, responsiveness.

Введение. Основные направления использования ячменя можно обозначить как зернофуражные цели, сырье для изготовления круп, пива, на зеленый корм и др. Побочная продукция (солома и мякина) широко применяется как незаменимый грубый корм и подстилоч-

ный материал (Лазаревич, Леснов, 2016). Такая универсальность является преимуществом перед другими зерновыми культурами. По посевным площадям ячмень так же более приоритетен, чем его основной зернофуражный конкурент – кукуруза (табл. 1) (Павлов, 2022).

Таблица 1. Посевная площадь под главными фуражными культурами в Российской Федерации, тыс./га
Table 1. Sown area of the main forage crops in the Russian Federation, thousand/ha

Культура	Площадь посева по годам					Среднее
	2018	2019	2020	2021	2022	
Ячмень (всего)	8325	8793	8530	8174	8165	8396
В том числе:						
озимый	480	621	731	758	711	660
яровой	7845	8172	7799	7416	7454	7736
Кукуруза	2452	2593	2855	2954	2841	2753

В структуре посева Ростовской области ячмень занимает второе место после озимой пшеницы. В годы с проявлениями засушливости климата, характерным для последнего десятилетия, озимый ячмень может формировать на Нижнем Дону урожайность на уровне и даже выше, чем озимая пшеница. В последние десятилетия на Дону отмечена тенденция увеличения потерь урожая из-за усиливающихся неблагоприятных погодных условий, в частности засух в период вегетации зерновых колосовых культур. Одним из условий роста урожайности в настоящее время является создание новых сортов со стабильной урожайностью по годам на различном агрофоне (Попов и др., 2022). Они быть достаточно устойчивыми не только к проявлениям засушливости климата, но и избыточному количеству осадков в отдельные годы, когда проявляются полегание и сильное поражение болезнями (Семенова и др., 2021). Поэтому вектор в усилении селекции на адаптивность и стабильность является приоритетным в современных условиях. Оценка адаптивности культур – один из способов решить вопрос с производством сортов, обладающих высоким адаптивным потенциалом (Новикова и др., 2022). Необходимо создание сортов как с экологической адаптивностью, так и способностью формировать стабильный уровень урожайности в разные по гидротермическим условиям года по различным предшественникам (Гудзенко, 2019). Ячмень демонстрирует высокую генетическую изменчивость в отношении стрессоустойчивости, что делает его отличным модельным растением для изучения (Elakhdar и др., 2022). Цель исследований – определить адаптивные свойства сортов озимого ячменя по урожайности и параметрам пластичности в условиях Нижнего Дона.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований являлись 20 сортов озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», часть из которых внесены в Государственный реестр РФ – Тимофей (стандарт), Ерема, Виват, Маруся, Фокс 1, Квант. Сорт Степ проходит изучение в Госсортсети РФ.

Исследования проводили в отделе селекции и семеноводства озимого и ярового ячменя ФГБНУ «АНЦ «Донской» в период 2020–2022 гг. на специальных опытных участках, расположенных в Зерноградском районе Ростовской области.

Почвы опытных участков представлены обыкновенными мощными карбонатными черноземами. По механическому составу тяжело-зернистые, с содержанием гумуса 3,2 % в пахотном слое, обеспечением фосфором подвижным – 10–40 мг/кг, содержанием азота легкоусвояемого – 70–110 мг/кг, калия обменного – 300–500 мг/кг почвы (Васильченко и Метлина, 2022). Предшествующие культуры – черный пар, горох, подсолнечник.

Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed. Площадь учетной делянки – 10 м², количество повторений – 4. Норма высева – 450 всхожих зерен на 1 м², ширина междурядий – 15 см. Уборку выполняли специальной селекционным комбайном Wintersteiger Classic.

Закладку опытов и исследования проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Математическую оценку результатов исследований и расчет коэффициента вариации (V) выполняли по методике полевого опыта Б. А. Доспехова.

Для определения показателей гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности (Sc) применяли методику В. В. Хангильдина и Н. А. Литвиненко. Показатели стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) рассчитаны по уравнениям А. А. Rosielle, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко. Коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Kp) определялся по методу В. А. Зыкина (2005). Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) – по уравнению Э. Д. Неттевича (2001).

Южная зона Ростовской области, где проводили исследования, характеризуется континентальностью климата с неустойчивым увлажнением, также характерной особенностью

является зачастую недостаточное количество осадков в осенний период и их перераспределение на зимне-весенний. Сумма осадков в среднем в течение года составляет 588,8 мм, а средний показатель температуры воздуха – плюс 9,7 °С.

Для 2020/2021 с.-х. года характерным являлся достаточно высокий средний показатель температуры (+2,0 °С к норме). Осенью 2020 г. выпало осадков 21,6 % (норма 131 мм), зимой – 80,5 % (норма 145 мм) и только весной 2021 г. наблюдалось избыточное увлажнение 185,1 % (норма 132 мм), летом в пределах нормы.

2021/2022 с.-х. год характеризовался неравномерным распределением осадков и повышенным температурным режимом в зимний период (+3,7 °С к норме). Всего выпало 609,2 мм осадков (104,6 % от нормы), в том числе осенью 75 мм (57,0 %), зимой – 265,7 мм (182,4 %), весной – 164,4 мм (125,5 %), летом – 104,0 мм (59,7 %).

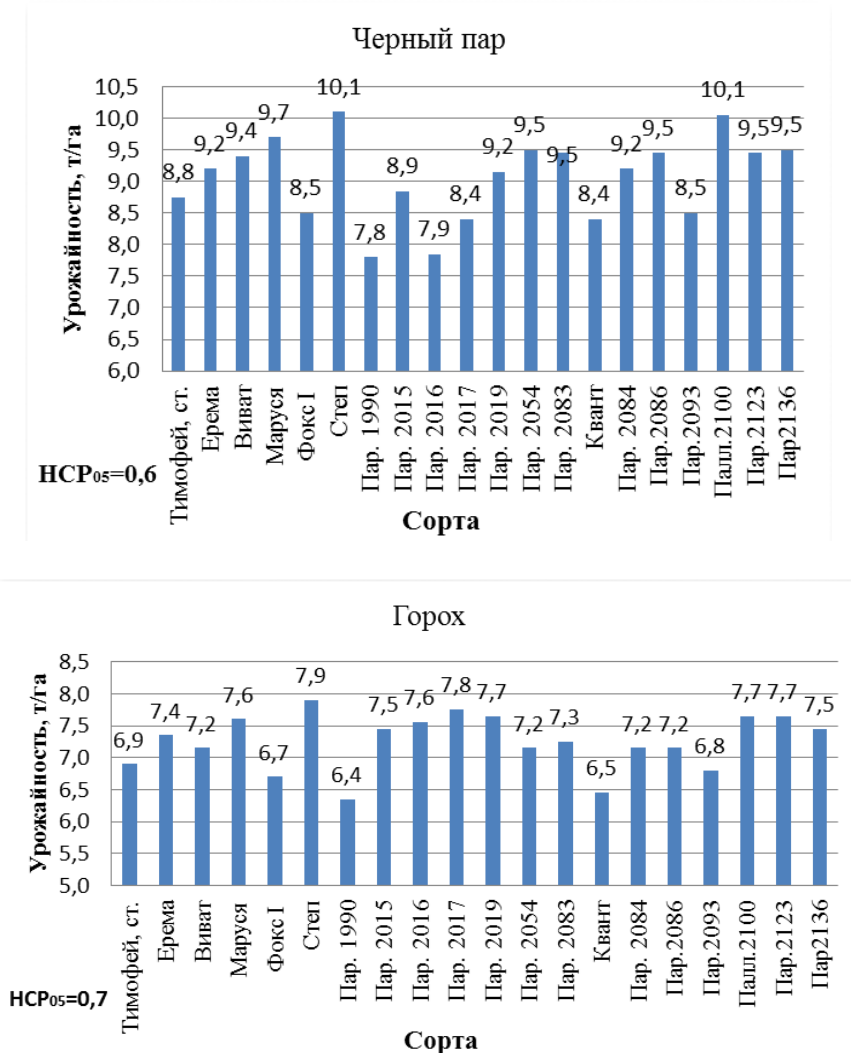
В целом погодные условия, сложившиеся во время исследований, отражали тенденцию в изменениях климата в сторону проявления усиления засушливости, особенно в осенний период, что позволяет достаточно достоверно оценить изучаемый материал.

Результаты и их обсуждение. За годы исследований на опытных участках ФГБНУ «АНЦ «Донской» урожайность изучаемых сортов озимого ячменя варьировала в зависимости от предшественника в пределах от 6,2 до 10,1 т/га.

По предшественнику черный пар в среднем за годы изучения была получена наибольшая урожайность – от 7,8 (Параллелум 1990) до 10,1 т/га (Степ, Паллидум 2100). Достоверно превысили стандарт по этому показателю образцы Степ, Паллидум 2100 (+1,3 т/га), Маруся (+0,9 т/га), Параллелум 2054, Параллелум 2083, Параллелум 2086, Параллелум 2123, Параллелум 2136 (+0,7 т/га).

По предшественнику горох урожайность варьировала в пределах 6,4 (Параллелум 1990) – 7,9 т/га (Степ). Достоверно превысили стандарт сорта Степ (+1,0 т/га), Параллелум 2017 (+0,9 т/га), Параллелум 2019, Паллидум 2100, Параллелум 2123 (+0,8 т/га).

По предшественнику подсолнечник урожайность колебалась от 6,2 (Параллелум 2086) до 7,5 т/га (Параллелум 2015, Паллидум 2100), достоверно превысили стандарт по данному показателю сорта Параллелум 2015 и Паллидум 2100 (+0,8 т/га) и Параллелум 2123 (+0,7 т/га), Маруся (+0,6) (рис. 1).



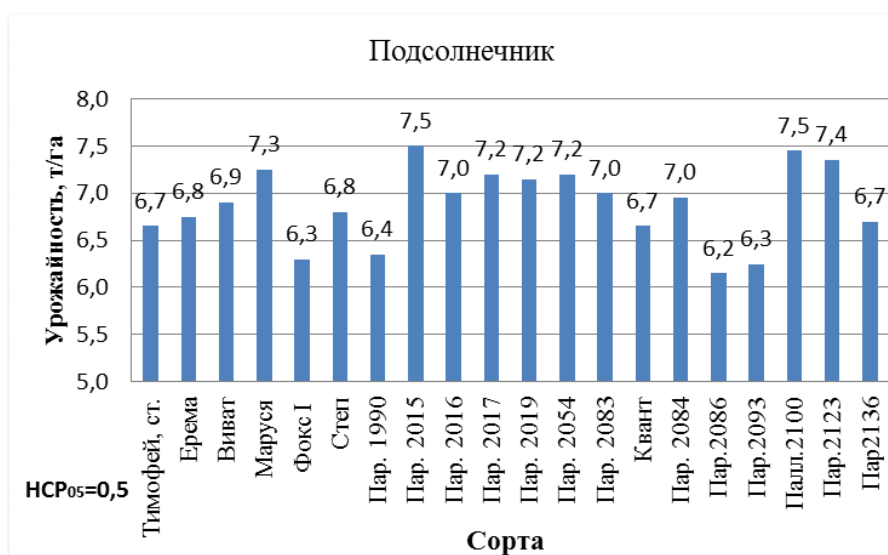


Рис. 1. Урожайность сортов озимого ячменя в зависимости от предшественника, т/га (2020–2022 гг.)

Fig. 1. Productivity of winter barley varieties depending on a forecrop, 2020–2022

В среднем по всем предшественникам лучшие показатели по урожайности отмечены у образцов Паллидум 2100 (8,4 т/га), Степ (8,3 т/га), Маруся и Параллелум 2123 (8,2 т/га).

Выращивание на интенсивном предшественнике (черный пар) способствовало повышению структуры урожайности, что и от-

разилось непосредственно на ее показателе. Этот факт подтверждают наши исследования. При посеве сорта после черного пара количество продуктивных стеблей в среднем варьировало от 520 до 582 шт./м² и было выше, чем по другим предшествующим культурам, на 56–215 штук (табл. 2).

Таблица 2. Структура урожая лучших образцов озимого ячменя в зависимости от предшественника, 2020–2022 гг.

Table 2. Yield structure of the best winter barley samples, depending on a forecrop, 2020–2022

Название сорта	Кол-во продуктивных стеблей на 1 м ² , шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с колоса, г
предшественник – черный пар				
Тимофей, ст.	532	54,7	41,1	2,2
Виват	542	55,9	38,7	2,2
Маруся	520	57	45,1	2,6
Степ	544	55,1	45,7	2,6
Параллелум 2015	550	53,6	43,1	2,3
Параллелум 2054	582	55,9	40,3	2,2
Параллелум 2083	560	54,6	40,3	2,4
Паллидум 2100	557	56,2	44,8	2,5
Параллелум 2123	546	51,1	38,8	2,2
Параллелум 2136	543	51,7	40,7	2,3
<i>Среднее</i>	<i>547,6</i>	<i>54,58</i>	<i>41,86</i>	
предшественник – горох				
Тимофей, ст.	411	52,5	40,8	2,1
Виват	440	55,7	39,4	2,2
Маруся	453	56,6	46,6	2,6
Степ	443	57,1	47,7	2,6
Параллелум 2015	445	54,5	42,2	2,1
Параллелум 2054	430	54,2	43,9	2,2
Параллелум 2083	411	50,6	42,7	2,2
Паллидум 2100	444	55,7	46,7	2,6
Параллелум 2123	436	49,5	44,7	2,3
Параллелум 2136	395	54,2	42,7	2,2
<i>Среднее</i>	<i>430,8</i>	<i>54,1</i>	<i>43,7</i>	
предшественник – подсолнечник				
Тимофей, ст.	375	55,2	40,3	2,5
Виват	372	56,1	41,2	2,2

Продолжение табл. 2

Название сорта	Кол-во продуктивных стеблей на 1 м ² , шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Масса зерна с колоса, г
Маруся	390	56	46,8	2,6
Степ	385	56,1	47,5	2,7
Параллелум 2015	399	51,7	44,6	2,4
Параллелум 2054	393	54,2	42,2	2,4
Параллелум 2083	367	49,5	43,3	2,6
Паллидум 2100	401	53,2	46,1	2,5
Параллелум 2123	410	55,4	42,3	2,4
Параллелум 2136	386	56,3	42,6	2,5
Среднее	387,8	54,4	43,7	
		3Sx	1,51	

Большое количество продуктивных стеблей способствовало снижению массы 1000 зерен по предшественнику черный пар (от 38,7 до 45,7 г), тогда как по предшественнику подсолнечник данный показатель составлял от 40,3 до 47,5 г.

По признаку «масса зерна с колоса» выделились сорта Маруся, Степ и Паллидум 2100, которые имели наиболее озерненный колос и хорошо выполненное зерно независимо от предшественника.

Согласно уравнениям А.А. Rosielle J. Hamblin показатель степени устойчивости сортов к неблагоприятным факторам среды определяется по интервалу между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min}$ – $Y_{\max}$), и меньшая разница между ними и характеризуется стрессоустойчивостью сор-

та для различных условий среды. Среди изучаемых образцов наиболее стрессоустойчивыми были Параллелум 2016 (–0,9), Параллелум 2017 (–1,2), Параллелум 1990 и Параллелум 2015 (–1,4).

Компенсаторная способность в свою очередь показывает генетическую гибкость или реакцию сорта на условия выращивания, согласно которой чем выше параметр, тем выше степень соответствия между урожайностью и факторами среды. Компенсаторная способность представляет из себя среднюю урожайность в контрастных (стрессовых и нестрессовых) условиях $((Y_{\min} + Y_{\max})/2)$. Наиболее высокие показатели отмечены у сортов озимого ячменя Паллидум 2100 (8,8), Маруся, Степ и Параллелум 2123 (8,5) (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность, стрессоустойчивость, генетическая гибкость сортов озимого ячменя (2020–2022 гг.)

Table 3. Productivity, stress resistance, genetic flexibility of the winter barley varieties, 2020–2022

Сорт	Урожайность, т/га		Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость
	min	max	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\min} + Y_{\max})/2$
Тимофей, ст.	6,7	8,8	–2,1	7,8
Ерема	6,8	9,2	–2,4	8,0
Виват	6,9	9,4	–2,5	8,2
Маруся	7,3	9,7	–2,4	8,5
Фокс I	6,3	8,5	–2,2	7,4
Степ	6,8	10,1	–3,3	8,5
Параллелум 1990	6,4	7,8	–1,4	7,1
Параллелум 2015	7,5	8,9	–1,4	8,2
Параллелум 2016	7,0	7,9	–0,9	7,5
Параллелум 2017	7,2	8,4	–1,2	7,8
Параллелум 2019	7,2	9,2	–2,0	8,2
Параллелум 2054	7,2	9,5	–2,3	8,4
Параллелум 2083	7,0	9,5	–2,5	8,3
Квант	6,5	8,4	–1,9	7,5
Параллелум 2084	7,0	9,2	–2,2	8,1
Параллелум 2086	6,2	9,5	–3,3	7,9
Параллелум 2093	6,3	8,5	–2,2	7,4
Паллидум 2100	7,5	10,1	–2,6	8,8
Параллелум 2123	7,4	9,5	–2,1	8,5
Параллелум 2136	6,7	9,5	–2,8	8,1
Sx	0,28	0,45	–	–

Коэффициент отзывчивости на условия окружающей среды (Кр.) – один из показате-

лей для измерения степени адаптивности сорта. По В.А. Зыкину, чем сильнее отличается

урожайность сорта, выращенного в благоприятной внешней среде, от урожайности этого же сорта, выращенного в неблагоприятных усло-

виях, тем более информативными будут данные (рис. 2).

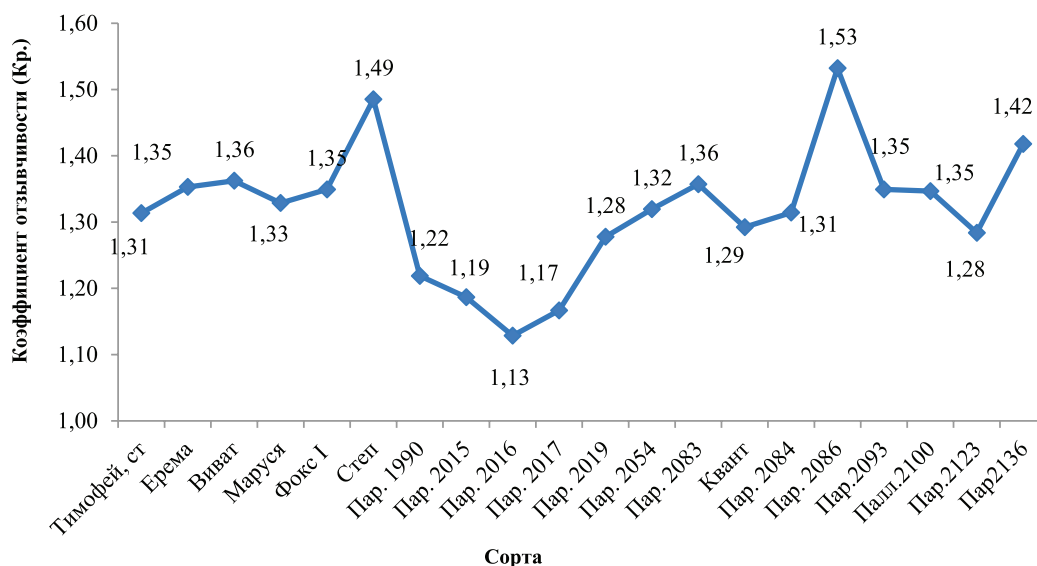


Рис. 2. Коэффициент отзывчивости на улучшение условий выращивания сортов озимого ячменя (2020–2022 гг.)

Fig. 2. Coefficient of responsiveness to the improvement of growing conditions for winter barley varieties, 2020–2022

По анализу результатов исследований все образцы хорошо реагируют на улучшение условий возделывания, наибольший коэффициент отзывчивости получен у сортов Параллелум 2086 (Кр. = 1,53) и Степ (Кр. = 1,49).

Гомеостатичность характеризует устойчивость признака в изменяющихся условиях среды, выраженную в способности сводить к минимуму последствия неблагоприятных воздействий внешней среды. Данный показатель варьировал от 7,4 до 96,4. Относительно высокое значение гомеостатичности отмечено у сорта Параллелум 2016 (Ном = 96,4).

Коэффициент вариации (V) – стандартное отклонение, выраженное средней арифметической данной совокупности. Наименьшей изменчивостью урожайности в среднем по предшественникам характеризовался сорт Параллелум 2016 (8,6 %), средняя изменчивость наблюдалась у Параллелум 1900, Параллелум 2015, Параллелум 2017, Параллелум 2019, Параллелум 2123, остальные сорта подвержены сильной изменчивости.

Селекционная ценность генотипа (Sc) является одним из параметров оценки сорта, сочетающая в себе высокую урожайность с адаптивными возможностями. По этому показателю выделились сорта Параллелум 2015, Параллелум 2017 (Sc = 6,7) и Параллелум 2016 (Sc = 6,6).

Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС) является комплексным показателем, поскольку позволяет одновременно учитывать уровень и стабильность урожайности и характеризует способность образца отзываться на улучшение условий выращивания, а при ухудшении – поддерживать достаточно высокий уровень продуктивности. Чем выше ПУСС, тем лучше сорт.

При анализе показатель уровня стабильности урожайности сорта изменялся от 73,2 (Параллелум 2086) до 256,3 % (Параллелум 2016). По данному критерию выделились образцы Параллелум 2016 (256,3 %), Параллелум 2017 (220,2 %), Параллелум 2015 (174,2 %) (табл. 4).

Таблица 4. Показатели адаптивности и стабильности сортов озимого ячменя (2020–2022 гг.)
Table 4. Indicators of adaptability and stability of the winter barley varieties, 2020–2022

Название сорта	Средняя урожайность, т/га	Гомеостатичность	Изменчивость урожайности (коэффициент вариации)	Показатель селекционной ценности	Показатель уровня стабильности сорта
	$\bar{X}$		V%	Sc	ПУСС
Тимофей, ст.	7,5	16,2	22,0	5,7	100,0
Ерема	7,8	14,4	22,6	5,8	105,8
Виват	7,8	12,7	24,6	5,8	98,0
Маруся	8,2	15,1	22,6	6,2	117,4
Фокс I	7,2	14,1	23,1	5,3	87,5

Продолжение табл. 4

Название сорта	Средняя урожайность, т/га	Гомеостатичность	Изменчивость урожайности (коэффициент вариации)	Показатель селекционной ценности	Показатель уровня стабильности сорта
	$\bar{X}_i$	Hom	V%	Sc	ПУСС
Степ	8,2	9,2	27,1	5,5	97,7
Параллелум 1990	6,9	29,5	16,6	5,6	111,5
Параллелум 2015	8,0	39,7	14,3	6,7	174,2
Параллелум 2016	7,5	96,4	8,6	6,6	256,3
Параллелум 2017	7,8	59,8	10,9	6,7	220,2
Параллелум 2019	8,0	21,9	18,3	6,3	138,7
Параллелум 2054	8,0	14,7	23,6	6,0	106,0
Параллелум 2083	7,9	13,0	24,3	5,8	101,8
Квант	7,2	18,5	20,5	5,6	99,5
Параллелум 2084	7,8	16,1	22,1	5,9	108,6
Параллелум 2086	7,6	7,4	31,3	5,0	73,2
Параллелум 2093	7,2	14,4	22,7	5,3	90,1
Паллидум 2100	8,4	13,4	24,3	6,3	115,4
Параллелум 2123	8,2	19,9	19,6	6,4	135,2
Параллелум 2136	7,9	10,9	25,8	5,6	95,2

Выводы. По результатам проведенных исследований по изучаемым предшествующим культурам были выявлены сорта озимого ячменя, обладающие высокими параметрами экологической пластичности и стабильности.

К стабильным сортам относятся Параллелум 2016 и Параллелум 2017, которые рекомендуются использовать в селекционном процессе как источники высокой стрессоустойчивости, ценности генотипа, низкой вариабельности урожайности.

По показателю отзывчивости на изменение условий выращивания большинство изучаемых

сортов относились к группе пластичных. Изменения урожайности в данной группе соответствовали изменениям условий выращивания. Наибольшие показатели урожайности по всем предшественникам получены по сортам Маруся, Степ и Паллидум 2100, которые являются не только генетически гибкими, способными реализовать высокий урожай в благоприятных условиях, но и показывают достоверные прибавки к урожайности на фоне других изучаемых сортов при неблагоприятных факторах среды.

Библиографические ссылки

1. Васильченко С.А., Метлина Г.В. Эффективность гербицидной обработки на продуктивность гибрида кукурузы Зерноградский 354 МВ // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 64–69. DOI:10.31367/2079-8725-2022-83-6-64-69.
2. 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. DOI: 10.18699/VJ19.469.
3. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений, Уфа: БашГАУ, 2005. 100 с.
4. Лазаревич А.Н., Леснов А.П. Солома в рационах сельскохозяйственных животных: рекомендации. Красноярск: ФГБНУ Красноярский НИИЖ, 2016. 90 с.
5. Неттевич, Э.Д. Потенциал урожайности рекомендованных для возделывания в центральном регионе РФ сортов яровой пшеницы и ячменя и его реализация в условиях производства // Доклады РАСХН. 2001. № 3. С. 3–6.
6. Новикова А.А., Гречишкина О.С., Емельянова А.А., Пустовалова А.А., Замерзляк М.В. Параметры адаптивности и гомеостатичности ярового ячменя в условиях Оренбургской области // Земледелие. 2022. № 8. С. 35–38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38.
7. Павлов В.И. Аналитика // Зерновой эксперт. 2022. № 2 (38). С. 27.
8. Попов А.С., Овсянников Г.В., Сухарев А.А., Копман И.К., Марченко Д.М., Самофалов А.П., Фетюхин И.В. Предшественники и сроки посева сорта мягкой озимой пшеницы Юбилей Дона в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 4. С. 51–103. DOI:10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103.
9. Семенова А.Г., Анисимова А.В., Ковалева О.Н. Устойчивость к вредным организмам современных сортов ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. № 182 (4). С. 108–116. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116.
10. Elakhdar A., Solanki S., Kubo T., Calvin O. Qualset Barley with Improved Drought Tolerance: Challenges and Perspectives // Environmental and Experimental Botany. 2022. Vol. 201. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965.

References

1. Vasil'chenko S.A., Metlina G.V. Effektivnost' gerbitsidnoi obrabotki na produktivnost' gibrida kukuruzy Zernogradskii 354 MV [The efficiency of herbicide treatment on the productivity of the maize hybrid

‘Zernogradsky 354 MV’] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 6. S. 64–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-64-69.

2. Gudzenko, V.N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh linii yachmenya ozimogo [Statistical and graphical (GGE biplot) estimation of the adaptability and stability of winter barley breeding lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2019. T. 23, № 1. S. 110–118. DOI: 10.18699/VJ19.469.

3. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii [Methodology for calculating and estimating the parameters of environmental adaptability of agricultural plants], Ufa: BashGAU. 2005. 100 s.

4. Lazarevich A.N., Lesnov A.P. Soloma v ratsionakh sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh [Straw in the diets of farm animals] // Krasnoyarsk: FGBNU Krasnoyarskii NIIZh, 2016. 90 s.

5. Nettevich, E.D. Potentsial urozhainosti rekomendovannykh dlya vozdel'yvaniya v tsentral'nom regione RF sortov yarovoi pshenitsy i yachmenya i ego realizatsiya v usloviyakh proizvodstva [Productivity potential of spring wheat and barley varieties recommended for cultivation in the central region of the Russian Federation and its implementation under production conditions] // Doklady RASKhN. 2001. № 3. S. 3–6.

6. Novikova A.A., Grechishkina O.S., Emel'yanova A.A., Pustovalova A.A., Zamerz-lyak M.V. Parametry adaptivnosti i gomeostatichnosti yarovogo yachmenya v usloviyakh Oren-burgskoi oblasti [Parameters of adaptability and homeostasis of spring barley in the conditions of the Orenburg region] // Zemledelie. 2022. № 8. S. 35–38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38.

7. Pavlov, V.I. Analitika [Analytics] // Zernovoi ekspert. 2022. № 2 (38). S. 27.

8. Popov A.S., Ovsyannikov G.V., Sukharev A.A., Kopman I.K., Marchenko D.M., Samofalov A.P., Fetyukhin I.V. Predshestvenniki i sroki poseva sorta myagkoi ozimoi pshenitsy Yubiley Dona v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Forecrops and sowing terms of the winter bread wheat variety ‘Yubiley Dona’ in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 4. S. 51–103. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-97-103.

9. Semenova A.G., Anisimova A.V., Kovaleva O.N. Ustoichivost' k vrednym organizmam sovremennykh sortov yachmenya [Pest resistance of modern barley varieties] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. № 182 (4). S. 108–116. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-108-116.

10. Elakhdar A., Solanki S., Kubo T., Calvin O. Qualset Barley with Improved Drought Tolerance: Challenges and Perspectives // Environmental and Experimental Botany. 2022. Vol. 201. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2022.104965.

Поступила: 26.01.23; доработана после рецензирования: 13.02.23; принята к публикации: 15.02.23.

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: Засыпкина И. М. – выполнение полевых опытов, сбор данных, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Филиппов Е. Г. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПИТАТЕЛЬНОСТЬ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ СОРТОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ЭСПАРЦЕТА

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

С. А. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;

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

А. А. Регидин, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства многолетних трав, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501

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

Представлены результаты исследований биохимического состава зеленой массы образцов эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria*) селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Цель исследований заключалась в выявлении изменчивости содержания сырых питательных веществ: протеина, жира, клетчатки, золы, БЭВ в зеленой массе сортов и линий эспарцета, в определении аминокислотного состава белка и выделении лучших образцов по изучаемым признакам. Исследования проводили в период 2017–2021 годов. В качестве стандарта использовали сорт Зерноградский 2. Биохимические анализы выполняли в фазу бутонизации – начала цветения. Химический состав отобранных образцов определяли в соответствии с методиками и ГОСТами. Максимальное содержание сырого протеина определено у перспективных линий Син 8/95 (15,38 %) и Син 13/95 (14,72 %). Установлено, что высокой концентрацией сырой золы характеризовались сорта Велес (10,6 %), Атаманский (14,1 %) и линии Син 13/95 (11,8 %), Син 8/95 (16,9 %). Оптимальное содержание клетчатки определено у сортов Атаманский (29,73 %) и Велес (29,61 %). В результате определения аминокислотного состава белка установлено, что по сбору незаменимых аминокислот выделились линия Син 8/95 (68,5 г/кг) и сорта Зерноградский 2 (62,3 г/кг), Велес (52,5 г/кг). По количеству заменимых аминокислот выделились сорта Велес (75,0 г/кг), Зерноградский 2 (66,5 г/кг) и линия Син 8/95 (66,4 г/кг). Линия Син 8/95 (134,9 г/кг) и сорта Велес (127,5 г/кг), Зерноградский 2 (128,8 г/кг) характеризовались высоким общим сбором аминокислот. Определено, что содержание сырого протеина (от 4,3–18,4 %), клетчатки (7,8–16,9 %) и сухого вещества (4,5–13,1 %) и БЭВ (9,6–15,9 %) характеризовалось незначительным и средним варьированием значений. Содержание сырой золы (9,6–25,2 %) и сырого жира (7,5–27,8 %) имело слабое, среднее и сильное варьирование в зависимости от сорта и линии. Исследования биохимического состава эспарцета позволили установить сортовые различия и вариабельность признаков, характеризующих питательность корма. С наилучшей выраженностью признаков качества выделились сорта Велес, Зерноградский 2 и перспективная линия Син 8/95, которые авторы статьи рекомендуют использовать в селекционном процессе в качестве источников полезных признаков и свойств.

Ключевые слова: сырой протеин, сорт, эспарцет, зола, клетчатка, сухое вещество.

Для цитирования: Кравченко Н. С., Игнатьев С. А., Игнатьева Н. Г., Регидин А. А. Биохимический состав и питательность зеленой массы сортов и перспективных линий эспарцета // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 64–69. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-64-69.



BIOCHEMICAL COMPOSITION AND NUTRITIONAL VALUE OF GREEN MASS OF THE SAINFOIN VARIETIES AND PROMISING LINES

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

S. A. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;

N. G. Ignatieva, technician-researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 0000-0002-8506-8711;

A. A. Regidin, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501

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

There have been presented the study results of the biochemical composition of the green mass of sandy sainfoin (*Onobrychis arenaria*) samples developed by the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy". The purpose of the current study was to identify the variability of the content of raw nutrients: protein, oil, fiber, ash, BEV in the green mass of sainfoin varieties and lines, to determine the amino acid composition of protein and to identify the best samples for the studied traits. The study was carried out in the period of 2017–2021. The variety 'Zernogradsky 2' was used as a standard variety. Biochemical analyzes were carried out in the period 'budding stage – blooming stage'. The chemical composition of the selected samples was carried out in accordance with the methodology and GOSTs. The maximum crude protein percentage was determined in promising lines 'Sin 8/95' (15.38 %) and 'Sin

13/95' (14.72 %). There was found that the varieties 'Veles' (10.6 %), 'Atamansky' (14.1 %) and the lines 'Sin 13/95' (11.8 %), 'Sin 8/95' (16.9 %) were characterized by a high concentration of raw ash. The optimal fiber content was established in the varieties 'Atamansky' (29.73 %) and 'Veles' (29.61%). As a result of determining the amino acid composition of protein, there was found that the line 'Sin 8/95' (68.5 g/kg) and the varieties 'Zernogradsky 2' (62.3 g/kg), 'Veles' (52.5 g/kg) were distinguished by the collection of essential amino acids. The varieties 'Veles' (75.0 g/kg), 'Zernogradsky 2' (66.5 g/kg) and the line 'Sin 8/95' (66.4 g/kg) were distinguished by the number of non-essential amino acids. The line 'Sin 8/95' (134.9 g/kg) and the varieties 'Veles' (127.5 g/kg), 'Zernogradsky 2' (128.8 g/kg) were characterized by a high total collection of amino acids. There was determined that crude protein percentage (from 4.3–18.4 %), fiber (7.8–16.9 %), dry matter (4.5–13.1 %) and BEV (9.6–15.9 %) were characterized by slight and medium variation in values. The content of crude ash (9.6–25.2 %) and crude oil (7.5–27.8 %) had weak, medium and strong variations depending on the variety and line. The study of the biochemical composition of sainfoin made it possible to establish varietal differences and variability of traits that characterize the nutritional value of the feed. The varieties 'Veles', 'Zernogradsky 2' and the promising line 'Sin 8/95' were found to have the best quality traits, which could be recommended for use in the breeding process as sources of useful traits and properties.

Keywords: crude protein, variety, sainfoin, ash, fiber, dry matter.

Введение. Повышение белка в растительном сырье остается одной из основополагающих проблем аграрной науки. Решение ее возможно за счет создания новых высокоурожайных, адаптивных к местным условиям сортов высокобелковых культур. Известно, что многолетние бобовые травы являются ценным источником растительного белка, который используется как на пищевые, так и на кормовые цели (Давлетов и др., 2020; Тарасенко, 2017; Regidin and Ignatiev, 2021).

Для обеспечения животноводства кормами, богатыми протеином, незаменимыми аминокислотами, каротиноидами, витаминами и другими важными элементами питания, необходимо увеличивать посевы многолетних трав. Эти культуры являются ценной сырьевой базой для изготовления кормов с высокой питательностью (Макаренков и др., 2021).

Эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*) относится к ценным высокобелковым кормовым культурам. Обладает важными для сельхозпредприятий технологическими признаками: широкой экологической пластичностью, значительной зимостойкостью и высокой засухоустойчивостью. Также эспарцет – хороший предшественник для озимой пшеницы и достаточно эффективно выращивается в полевых севооборотах (Черепок и др., 2021; Игнатьев и Регидин, 2018; Тарасенко и др., 2016; Mora-Ortiz M. et al., 2016).

Цель исследований заключалась в выявлении изменчивости содержания сырых питательных веществ: протеина, жира, клетчатки, золы, БЭВ в зеленой массе перспективных сортов и линий эспарцета, в определении аминокислотного состава белка и выделении лучших образцов по изучаемым признакам.

Материалы и методы исследований. Полевые опыты проводили в рамках конкурсного сортоиспытания лаборатории многолетних трав в 2017–2022 годах. Объектом исследований являлись сорта и перспективные линии эспарцета песчаного (*Onobrychis arenaria*) селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Посев конкурсного сортоиспытания проводили весной с нормой высева 4 млн всхожих семян на гектар. Площадь делянок 25 м², повторность 4–6-кратная. В качестве стандарта использовали сорт Зерноградский 2.

Биохимические анализы проводили в фазу бутонизации – начала цветения.

В осенне-зимний период 2017 г. погодные условия для многолетних трав сложились благоприятно. Критически низких температур в зимний период не наблюдалось. Недобор осадков в марте компенсировался их выпадением в апреле и мае. Среднесуточные температуры воздуха в эти месяцы были близки к среднемноголетним.

В 2018 г. погодные условия для многолетних трав складывались благоприятно. Недостаток влаги в осенний период компенсировался их количеством (на 28,8 % больше среднемноголетних) зимнего периода. Среднемесячные температуры воздуха в вегетационный период были на 1,6–3,0 °C выше среднемноголетних. На фоне этих высоких среднесуточных температур за весенний период выпало осадков на 50 мм меньше среднемноголетнего количества.

В осенне-зимний период 2019 г. количество выпавших осадков было практически равно среднемноголетним значениям. За весеннее время количество осадков было на 8,8 % выше, а в летний период оно составило только 55 % от среднемноголетнего количества. Недостаток осадков летнего периода существенно отразился на начале осенней вегетации многолетних трав.

За январь–февраль 2020 г. количество выпавших осадков превысило на 62,8 % среднемноголетнюю норму. В весенний период остро ощущался недостаток влаги, и только выпавшие в мае осадки в какой-то степени снизили потребность многолетних трав во влаге.

Зимний период 2021 г. был благоприятным для перезимовки многолетних трав. В весенний период отмечалось высокое количество осадков, которое превышало среднемноголетние показатели на 32,2 % в марте, 124,1 % в апреле и 26,7 % в мае, что препятствовало своевременному проведению уходных мероприятий на посевах многолетних трав.

Химический состав отобранных образцов устанавливали в соответствии с методиками и ГОСТами. Сырую клетчатку определяли по Геннебергу и Штоману (ГОСТ Р 52839-2007), сырой жир – по Рушковскому (ГОСТ 13496.15-97), сырую золу – методом сухо-

го озоления (ГОСТ 26229-95), содержание общего азота – в соответствии с методом Кьельдаля. Аминокислотный состав определяли методом капиллярного электрофореза с применением системы КАПЕЛЬ-205.

Определение 18 протеиногенных аминокислот проходит в 3 этапа.

1. По схеме анализа 1, после проведения кислотного гидролиза определяется концентрация 14 аминокислот в изучаемом образце.

2. По схеме анализа 2, после окисления пробы и проведения кислотного гидролиза устанавливается содержание аспарагиновой, глутаминовой и цистеиновой кислот.

3. По схеме анализа 3, после проведения щелочного гидролиза определяется концентрация триптофана.

Статистическая обработка результатов исследования проведена по Б.А. Доспехову с использованием MS Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Концентрация сырого протеина в растительных образцах – один из важнейших показателей, который характеризует питательную ценность корма (Макаренков и др., 2021). Анализируя количество сырого протеина, было выявлено варьирование данного признака от 13,60 (Атаманский) до 15,38 % (Син 8/95). Значения коэффициента вариации этого признака изменялись от низких – 4,3 % (Син 1/93) до средних – 18,4 % (Син 8/95), что свидетельствует об умеренной изменчивости в зависимости от сложившихся природно-климатических факторов (табл. 1).

Таблица 1. Содержание сырого белка и сырой золы в сухом веществе эспарцета, 2017–2021 гг.

Table 1. Content of crude protein and crude ash in dry matter of sainfoin, 2017–2021

Сорт / линия	Сырой протеин, % на а. с. в.	CV, %	Сырая зола, %	CV, %
Зерноградский 2, стандарт	13,68	4,5	9,1	11,9
Атаманский	13,60	14,1	13,8	14,3
Велес	14,09	7,0	10,6	11,6
Син 1/93	14,16	4,3	9,2	9,6
Син 8/95	15,38	18,4	16,9	25,2
Син 13/95	14,72	8,9	11,8	15,7
НСР _{0,5}	0,78	–	0,12	–

Максимальным содержанием сырого протеина характеризовались перспективные образцы Син 8/95 (15,38 %) и Син 13/95 (14,72 %), которые достоверно превысили стандарт по данному признаку (НСР_{0,5} = 0,78 %).

Сырая зола является важным показателем качества корма. Процент зольности свидетельствует о количестве минеральных веществ и зависит как от вида растений, так и от условий их выращивания, а также возраста и сроков уборки. Оптимальной концентрацией сырой золы считается 8–10 % (Макаренков и др., 2021).

Варьирование по количеству золы в сухом веществе у изучаемых образцов составило от 9,1 (Зерноградский 2) до 16,9 % (Син 8/95). Максимальной концентрацией сырой золы ха-

рактеризовались образцы Велес (10,6 %), Син 13/95 (11,8 %), Атаманский (13,8 %) и Син 8/95 (16,9 %).

Изменчивость этого показателя отмечена от низкой – 9,6 % (Син 1/93) до высокой – 25,2 % (Син 8/95), что свидетельствует о значительном влиянии условий выращивания на содержание золы.

Важным показателем качества зеленой массы является содержание сырого жира. По концентрации сырого жира в сухом веществе образцов эспарцета достоверных различий не установлено, однако варьирование значений коэффициента вариации было в широких пределах – от 7,5 (Велес) до 27,8 % (Син 8/95) (табл. 2).

Таблица 2. Содержание сырого жира и сырой клетчатки в сухом веществе эспарцета, 2017–2021 гг.

Table 2. Content of crude oil and crude fiber in dry matter of sainfoin, 2017–2021

Сорт / линия	Сырой жир, %	CV, %	Сырая клетчатка, %	CV, %
Зерноградский 2, стандарт	2,60	8,6	31,12	14,1
Атаманский	2,68	12,9	29,73	16,9
Велес	2,48	7,5	29,61	15,1
Син 1/93	2,35	20,7	32,69	13,6
Син 8/95	2,17	27,8	33,86	7,8
Син 13/95	2,31	8,3	31,73	13,2
НСР _{0,5}	0,21	–	0,91	–

Клетчатка необходима животным для нормального процесса пищеварения и является

источником энергии. Количество ее зависит от вида и возраста растений (Блохина, 2014).

Содержание клетчатки в среднем за годы исследований варьировало от 29,61 (Велес) до 33,86 % (Син 8/95). Лучшей выраженностью значений характеризовались сорта Атаманский (29,73 %) и Велес (29,61 %). Коэффициенты вариации изменялись от низких значений – 7,8 % (Син 8/95) до средних – 16,9 % (Атаманский), что свидетельствует об умеренной изменчивости признака в зависимости от факторов окружающей среды.

Безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ) включают все органические вещества корма, не учтенные при определении сырого протеина, сырой клетчатки, сырого жира и сырой золы (Блохина, 2014). Увеличение содержания БЭВ в растении приводит к снижению процента переваримости питательных веществ. В зависимости от сорта содержание БЭВ в сухом веществе находилось в пределах от 41,59 до 47,62 % (табл. 3).

Таблица 3. Содержание сухого вещества и БЭВ в сухом веществе эспарцета, 2017–2021 гг.
Table 3. Content of dry matter and BEV in dry matter of sainfoin, 2017–2021

Сорт / линия	Сухое вещество, %	CV, %	БЭВ, %	CV, %
Зерноградский 2, стандарт	20,98	8,1	45,58	9,9
Атаманский	22,39	8,0	47,62	9,6
Велес	22,43	8,6	47,02	11,2
Син 1/93	21,35	10,0	44,18	10,4
Син 8/95	21,82	13,1	41,59	15,9
Син 13/95	21,69	4,5	44,92	11,7
НСР _{0,5}	0,74	–	0,91	–

Максимальной выраженностью этого признака характеризовались сорта Атаманский (47,62 %) и Велес (47,02 %).

Значения коэффициентов вариации изменялись от низких – 9,63 % (Атаманский) до средних – 15,91 % (Син 8/95).

Исследования показали, что биомасса *Onobrychis arenaria* накапливала от 20,98 до 22,43 % сухих веществ. Максимальным содержанием сухого вещества характеризовались новые сорта Атаманский (22,39 %) и Велес (22,43 %). Установлено незначительное варьирование данного признака – от 4,5 до 13,1 %, что свидетельствует о стабильности изучаемых

сортов и линий по содержанию сухого вещества.

Сбалансированность корма по содержанию заменимых и незаменимых аминокислот оказывает значительное влияние на физиологические процессы жизнедеятельности животных, а также позволяет процесс производства продукции животноводства вести эффективно и рентабельно (Семенов и др., 2011).

Проведенный анализ позволил определить аминокислотный состав белка образцов эспарцета, а также выявить сортовые различия по сбору заменимых и незаменимых аминокислот (табл. 4).

Таблица 4. Аминокислотный состав образцов эспарцета, 2020–2022 гг.
Table 4. Amino acid composition of sainfoin samples, 2020–2022

Аминокислота	Зерноградский 2, стандарт	Син 8/95	Атаманский	Син 1/93	Син 13/95	Велес
Незаменимые аминокислоты, г/кг						
Лизин	8,6	10,7	7,3	7,6	7,1	8,5
Гистидин	2,7	3,0	2,2	2,5	2,0	1,8
Лейцин+изолейцин	18,2	20,7	14,5	15,2	14,7	16,9
Валин	8,1	8,6	6,6	6,3	6,1	7,1
Метионин	1,6	1,9	1,1	1,1	1,3	1,1
Треонин	11,0	13,0	8,8	9,4	8,0	10,0
Триптофан	2,8	3,4	2,4	2,4	2,5	0,9
Фенилаланин	6,1	7,2	4,9	5,3	5,1	6,2
Всего незаменимых	59,1	68,5	47,8	49,8	46,8	52,5
Заменимые аминокислоты, г/кг						
Аргинин	10,3	7,9	7,4	5,5	6,0	6,2
Тирозин	3,4	4,3	2,7	3,0	2,8	3,5
Пролин	6,9	7,4	5,6	5,6	5,8	6,2
Серин	6,5	10,5	7,8	8,3	8,0	8,4
Аланин	10,5	10,7	8,3	8,1	7,3	8,9
Глицин	8,1	9,4	6,5	6,9	7,0	7,8
Аспарагиновая кислота и аспарагин	12,1	9,2	11,1	12,6	12,7	18,4
Глутаминовая кислота и глутамин	7,7	6,3	7,5	8,4	9,4	13,4
Цистин	1,0	0,7	1,1	1,0	1,1	2,2
Всего заменимых	66,5	66,4	58,0	59,4	60,1	75,0
Сбор аминокислот	125,6	134,9	105,8	109,2	106,9	127,5

В результате исследований установлено, что по сбору незаменимых аминокислот выделились образцы Син 8/95 (68,5 г/кг), Зерноградский 2 (59,1 г/кг) и Велес (52,5 г/кг). По количеству заменимых аминокислот выделились Велес (75,0 г/кг), Зерноградский 2 (66,5 г/кг) и Син 8/95 (66,4 г/кг). По общему сбору аминокислот выделились образцы Син 8/95 (134,9 г/кг), Велес (127,5 г/кг) и Зерноградский 2 (125,6 г/кг).

Установлено, что из незаменимых аминокислот наиболее лимитирующими оказались гистидин, метионин и триптофан.

Среди заменимых дефицитным оказался цистин, который играет большую роль в обмене веществ в качестве источника серы.

Выводы. Исследования биохимического состава эспарцета позволили установить со-

ртовые различия и вариабельность признаков, характеризующих питательность корма.

Содержание сырого протеина (от 4,3–18,4 %), клетчатки (7,8–16,9 %) и сухого вещества (4,5–13,1 %) и БЭВ (9,6–15,9 %) характеризовалось незначительным и средним варьированием значений. Содержание сырой золы (9,6–25,2 %) и сырого жира (7,5–27,8 %) имело слабое, среднее и сильное варьирование в зависимости от сорта и линии.

По общему сбору аминокислот в белке выделились сорта Велес и Зерноградский 2 и перспективная линия Син 8/95, которые подойдут для использования в селекционном процессе в качестве источников высокой выраженности биохимических признаков и питательности корма.

Библиографические ссылки

1. Блохина Е.А. Повышение продуктивности зеленой массы сорго сахарного в условиях дерново-подзолистого почвы северо-востока Беларуси // *Агрохимический вестник*. 2014. № 4. С. 33–37.
2. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Магафурова Ф.Ф. Сравнительное изучение хозяйственно-биологических признаков у сортов гороха, созданных в Республике Башкортостан за последние 30 лет* // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 4 (84). С. 72–77.
3. Игнатьев С.А., Регидин А.А. Результативность селекции эспарцета на кормовую и семенную продуктивность // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 3(57). С. 49–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-57-3-49-52.
4. Макаренков М.А., Козлов Н.Н., Комкова Т.Н., Коровина В.Л. Сравнительная оценка коллекционных образцов многолетних бобовых кормовых растений // *Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник статей*. 2021. Т. 26 (74). С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.33814/MAK-2021-26-74-35-43>.
5. Семенов В.В., Кононенко С.И., Кононенко И.С. Питательность и аминокислотный состав сортов зерна сорго, используемых в кормлении животных // *Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства*. 2011. Т. 1, № 4–1. С. 86–88.
6. Тарасенко Н.А. Перспективы использования вторичных продуктов переработки растительного сырья в рецептурах белково-углеводных обогатителей // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2017. № 2–3. С. 10–13.
7. Тарасенко Н.А., Никонович Ю.Н., Бутина Е.А. Особенности химического состава порошка семян эспарцета // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2016. № 2–3. С. 17–21.
8. Черепок И.А., Боровик А.А., Абрамова С.В. Создание продуктивного травостоя на основе эспарцета песчаного для получения качественного сена // *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2021. № 57. С. 158–164.
9. Mora-Ortiz M., Swain M. T., Vickers M. J., Hegarty M. J., Kelly R., Smith L. M. J., Skøt L. De-novo transcriptome assembly for gene identification, analysis, annotation, and molecular marker discovery in *Onobrychis viciifolia* // *BMC genomics*. 2016. Vol. 17(1), P. 756. DOI: 10.1186/s12864-016-3083-6.
10. Regidin A., Ignatiev S. The study of the sources of valuable economic and biological traits in the collection nursery of sainfoin // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 937, P. 022124. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022124.

References

1. Blokhina E.A. Povyshenie produktivnosti zelenoi massy sorgo sakharnogo v usloviyakh dernovo-podzolistoi pochvy severo-vostoka Belarusi [Improving productivity of sweet sorghum green mass in the conditions of soddy-podzolic soil in the north-east of Belarus] // *Agrokhimicheskii vestnik*. 2014. № 4. S. 33–37.
2. Davletov F.A., Gainullina K.P., Magafurova F.F. Sravnitel'noe izuchenie khozyaistvenno-biologicheskikh priznakov u sortov gorokha, sozdannykh v Respublike Bashkortostan za poslednie 30 let* [Comparative study of economic and biological traits of the pea varieties developed in the Republic of Bashkortostan over the past 30 years*] // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. № 4 (84). S. 72–77.
3. Ignat'ev S.A., Regidin A.A. Rezul'tativnost' seleksii espartseta na kormovuyu i semennuyu produktivnost' [The efficiency of sainfoin breeding for feed and seed productivity] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2018. № 3(57). S. 49–52. DOI 10.31367/2079-8725-2018-57-3-49-52.
4. Makarenkov M. A., Kozlov N. N., Komkova T. N., Korovina V. L. Sravnitel'naya otsenka kollekttsionnykh obraztsov mnogoletnykh bobovykh kormovykh rastenii [Comparative estimation of collection samples of perennial leguminous feed plants] // *Mnogofunktsional'noe adaptivnoe kormoproizvodstvo: sbornik statei*. 2021. T. 26 (74). S. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.33814/MAK-2021-26-74-35-43>.

5. Semenov V.V., Kononenko S.I., Kononenko I.S. Pitatel'nost' i aminokislotnyi sostav sortov zerna sorgo, ispol'zuemykh v kormlenii zhivotnykh [Nutritional value and amino acid composition of sorghum grain varieties used in animal feeding] // Sbornik nauchnykh trudov Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva i kormoproizvodstva. 2011. T. 1. № 4–1. S. 86–88.

6. Tarasenko, N.A. Perspektivy ispol'zovaniya vtorichnykh produktov pererabotki rastitel'nogo syr'ya v retsepturakh belkovo-uglevodnykh obogatitelei [Prospects for the use of secondary products of vegetable raw materials' processing in the formulations of protein-carbohydrate enrichers] // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. 2017. № 2–3. S. 10–13.

7. Tarasenko N.A., Nikonovich Yu.N., Butina E.A. Osobennosti khimicheskogo sostava poroshka semyan espartseta [Features of the sainfoin seed powder's chemical composition] // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. 2016. № 2–3. S. 17–21.

8. Cherepok I.A., Borovik A.A., Abraskova S.V. Sozdanie produktivnogo travostoya na osnove espartseta peschanogo dlya polucheniya kachestvennogo sena [Development of a productive grass stand based on sandy sainfoin to obtain high-quality hay] // Zemledelie i selektsiya v Belarusi. 2021. № 57. S. 158–164.

9. Mora-Ortiz M., Swain M.T., Vickers M.J., Hegarty M.J., Kelly R., Smith L.M.J., Skøt L. De-novo transcriptome assembly for gene identification, analysis, annotation, and molecular marker discovery in *Onobrychis viciifolia* // BMC genomics. 2016. Vol. 17(1), Article number 756. DOI: 10.1186/s12864-016-3083-6.

10. Regidin A., Ignatiev S. The study of the sources of valuable economic and biological traits in the collection nursery of sainfoin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937, Article number 022124. DOI:10.1088/1755-1315/937/2/022124.

Поступила: 11.02.23; доработана после рецензирования: 21.02.23; принята к публикации: 21.02.23.

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. Кравченко Н.С., Игнатьев С.А. – концептуализация исследования, подготовка рукописи; Регидин А.А. – анализ данных и их интерпретация, проведение полевого опыта; Игнатова Н.Г. – биохимический анализ.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП СПЕЛОСТИ

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

Н. П. Иличкина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322;

Н. Е. Самофалова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164;

Н. В. Кабанова, агроном лаборатории селекции и семеноводства пшеницы твердой озимой, Kabanovdanee/2202@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-8060-7512;

И. М. Кирина, агроном лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, oldyrev95@mail.ru; ORCID ID: 0000-0001-68450874

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье представлены результаты экологического испытания сортов озимой твердой пшеницы в условиях южной зоны Ростовской области. Цель исследований – оценить урожайность и качество зерна сортов озимой твердой пшеницы различных групп спелости. Материалом для исследований послужили 53 сорта озимой твердой пшеницы различного экологического происхождения селекции: ФГБНУ «АНЦ «Донской», ФГБНУ НЦЗ им. П. П. Лукьяненко, ФГБНУ ФНАЦ и других учреждений. В качестве стандарта использовали сорт Кристелла. По результатам исследований установлено, что 22,6 % (12 шт.) образцов озимой твердой пшеницы относились к среднеранней группе спелости с колошением 20–22 мая, к среднеспелой (23–25 мая) – 49,1 % (26 шт.) образцов, среднепоздней (26–29 мая) – 28,3 % (15 шт.) образцов. Максимальная урожайность за изучаемый период (2020–2022 гг.) выявлена у среднеспелых образцов (8,40 т/га). Высокие показатели качества сформировали сорта озимой твердой пшеницы среднеранней группы спелости: содержание белка – 15,24 %, содержание клейковины – 27,0 %, SDS-седиментация – 38 мл, содержание каротиноидов – 567 Мкг/%. В среднем за три года высокую стекловидность и натуру зерна в опыте сформировали образцы среднеспелой группы (78 %; 777 г/л). В ходе корреляционного анализа получены достоверные положительные взаимосвязи у среднеранних генотипов – содержанием белка ($r = 0,95 \pm 0,04$), содержанием клейковины ($r = 0,94 \pm 0,04$), стекловидностью ($r = 0,48 \pm 0,12$), SDS-седиментацией ($r = 0,92 \pm 0,04$), содержанием каротиноидов ($r = 0,96 \pm 0,04$) и среднепоздних – стекловидностью ($r = 0,41 \pm 0,13$). У среднеспелых образцов достоверных связей не было отмечено.

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, качество зерна, сорт, вегетационный период, группа спелости.

Для цитирования: Иванисова А. С., Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Кабанова Н. В., Кирина И. М. Урожайность и качество зерна озимой твердой пшеницы различных групп спелости // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 70–75. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-70-75.



PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF WINTER DURUM WHEAT OF VARIOUS MATURITY GROUPS

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

N. P. Ilichkina, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-4041-0322;

N. E. Samofalova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-2216-3164;

N. V. Kabanova, agronomist of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, Kabanovdanee/2202@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-8060-7512;

I. M. Kirina, agronomist of the laboratory for biochemistry estimation of breeding material and grain quality, oldyrev95@mail.ru; ORCID ID: 0000-0001-68450874

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current paper has presented the results of environmental testing of winter durum wheat varieties in the conditions of the southern part of the Rostov region. The purpose of the study was to estimate productivity and grain quality of winter durum wheat varieties of various maturity groups. The objects of the study were 53 winter durum wheat varieties of various environmental origins of breeding, namely FSBSI "ARC "Donskoy", FSBSI RCG named after P. P. Lukyanenko, FSBSI FRAC and other institutions. The variety 'Kristella' was used as a standard variety. According to the results of the study there was found that 22.6 % (12 pcs.) of winter durum wheat samples belonged to the mid-

dle-early maturity group with a heading stage starting on May 20–22; 49.1 % (26 pcs.) of samples belonged to the middle-maturing group (May 23–25); 28.3 % (15 pcs.) of samples belonged to middle-late maturing group (May 26–29). The maximum productivity for the study period (2020–2022) was identified among the samples of middle maturity group (8.40 t/ha). High quality indicators were formed by winter durum wheat varieties of the middle-early maturity group with 15.24 % of protein, 27.0 % of gluten, 38 ml of SDS-sedimentation, 567 Mkg/% of carotenoids. On average for three years, the samples of the middle maturity group (78 %; 777 g/l) have formed high kernel hardness and grain unit in the trial. During the correlation analysis, there have been obtained significant positive correlations in middle-early genotypes (with protein content ($r = 0.95 \pm 0.04$), gluten content ($r = 0.94 \pm 0.04$), kernel hardness ($r = 0.48 \pm 0.12$), SDS-sedimentation ($r = 0.92 \pm 0.04$), carotenoid content ($r = 0.96 \pm 0.04$)) and in middle-late genotypes (with kernel hardness ($r = 0.41 \pm 0.13$)). Among middle maturing samples there have been found no significant correlations.

Keywords: winter durum wheat, grain quality, variety, vegetation period, maturity group.

Введение. Значение сорта в улучшении качества зерна весьма значительно. Поэтому целенаправленная селекция является одним из эффективных средств решения этой проблемы (Иванисов и др., 2020; Некрасов и др., 2021).

Требования к новому сорту чрезвычайно разнообразны: высокая продуктивность и качество зерна, устойчивость к засухе, морозам, различным болезням и вредителям, полеганию, осыпанию и пр. (Марченко и др., 2019).

Из всех этих признаков качеству зерна пшеницы должно придаваться первостепенное значение. Твердая пшеница – продовольственная культура. Ее зерно используется для изготовления большого числа продуктов и в первую очередь макарон. Совершенно нерационально производить плохую пшеницу и получать из нее низкокачественные макаронные изделия (Lozhkin et al., 2019).

Вегетационный период является важным признаком, характеризующим сорт. В различных почвенно-климатических зонах возделываются как раннеспелые, так и позднеспелые формы в зависимости от благоприятного периода для налива и созревания зерна (Захарова и Захаров, 2020).

Цель исследований – оценить урожайность и качество зерна сортов озимой твердой пшеницы различных групп спелости в условиях южной зоны Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в условиях южной зоны Ростовской области. Материалом для исследований послужили 53 сорта озимой твердой пшеницы различного экологического происхождения селекции: ФГБНУ «АНЦ «Донской», ФГБНУ НЦЗ им. П. П. Лукьяненко, ФГБНУ ФНАЦ и других учреждений. В качестве стандарта использовали сорт Кристелла.

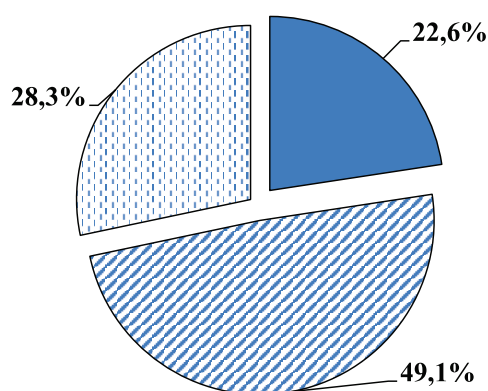
Посев осуществляли сеялкой «Wintersteiger Plotseed S» с нормой высева 500 шт. всхожих семян на м². Учетная площадь делянки 10 м², повторность 2-кратная, размещение делянок систематическое. Предшественник – сидеральный пар. Уборку проводили комбайном «Wintersteiger Classic». Полевые оценки, фенологические наблюдения, учет урожая выполняли по методике государственного сортоиспытания.

Качественные показатели зерна определяли в соответствии с методическими указаниями и ГОСТ: количество клейковины – ГОСТ Р 54478-2011, натура зерна – ГОСТ 10840-2017,

содержание белка – ГОСТ 10846-91, седиментацию (SDS-вариант) – по методике, разработанной в «АНЦ «Донской» (2014) с градацией для твердой пшеницы: очень сильная клейковина – > 40; сильная – 39–35; средняя – 34–30; слабая – 29 и < мл, стекловидность зерна определяли на приборе диафаноскопе по ГОСТ 10987, содержание каротиноидов – колориметрическим методом.

Погодные условия изучаемого периода сложились разнообразно. В 2020 г. выпавшие осадки во время налива зерна привели к снижению урожайности и качества зерна озимой твердой пшеницы. В 2021 г. высокие температуры летнего периода положительно повлияли на качество зерна. В 2022 г. сложились благоприятные условия для формирования максимальной урожайности за годы исследований.

Результаты и их обсуждение. Так как в условиях южной зоны Ростовской области созревание сортов озимой твердой пшеницы наступает одновременно, для оценки раннеспелости используется дата колошения. Стандартный сорт Кристелла в годы исследований колосился 22 мая (рис. 1).



■ Среднеранняя ■ Среднепоздняя ■ Среднеспелая

Рис. 1. Распределение сортов озимой твердой пшеницы различного эколого-географического происхождения по группам спелости, 2020–2022 гг.

Fig. 1. Distribution of winter durum wheat varieties of various environmental and geographical origin according to maturity groups, 2020–2022

По результатам исследований установлено, что 22,6 % (12 шт.) образцов озимой твердой пшеницы относились к среднеранней группе спелости с колошением 20–22 мая, к средне-

спелой (23–25 мая) – 49,1 % (26 шт.) образцов, среднепоздней (26–29 мая) – 28,3 % (15 шт.) образцов.

Урожайность среднеранних сортов в экологическом испытании находилась в пределах от 7,34 до 8,87 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сортов озимой твердой пшеницы различных групп спелости в экологическом испытании (2020–2022 гг.)

Table 1. Productivity of winter durum wheat varieties of various maturity groups in an environmental testing (2020–2022)

Признак	Группа спелости	Минимальное	Максимальное	Среднее	Коэффициент вариации (Cv), %
Урожайность, т/га	среднеранняя	7,34	8,87	8,25	6,06
	среднеспелая	6,83	10,33	8,40	11,23
	среднепоздняя	6,60	11,21	8,25	15,04

Образцы среднеспелой группы по данному признаку варьировали от 6,83 до 10,33 т/га. Продуктивность среднепоздних сортов находилась в пределах 6,60–11,21 т/га.

Анализ коэффициента вариации (Cv, %) показал, что урожайность сортов среднеранней группы спелости характеризовалась слабой изменчивостью (6,06 %), а среднеспелая и среднепоздняя группы – средней (11,23–15,04 %).

В среднем за три года исследований продуктивность сортов озимой твердой пшеницы различных групп спелости варьировала от 8,25 до 8,40 т/га. Существенных различий по данному признаку выявлено не было ($HC_{0,5} = \pm 0,45$ т/га). Максимальная урожай-

ность отмечена у среднеспелых образцов (8,40 т/га).

Технологические достоинства твердых пшениц определяются двумя группами факторов: наследственными особенностями и условиями их выращивания. Сортосовые особенности в первую очередь определяют качество белков, в то время как условия произрастания оказывают решающее влияние на их содержание в зерне (Fedosenko and Nikitina, 2021).

Содержание белка у среднеранних сортов озимой твердой пшеницы в экологическом испытании варьировало от 14,35 до 16,00 %, у среднеспелых – от 13,66 до 15,87 %, у среднепоздних – от 13,78 до 16,19 % (табл. 2).

Таблица 2. Качественные показатели зерна сортов озимой твердой пшеницы различных групп спелости в экологическом испытании (2020–2022 гг.)

Table 2. Grain quality indicators of winter durum wheat varieties of various maturity groups in an environmental testing (2020–2022)

Признак	Группа спелости	Минимальное	Максимальное	Среднее	S (ст.откл.)
Содержание белка, %	среднеранняя	14,35	16,00	15,24	0,51
	среднеспелая	13,66	15,87	14,96	0,45
	среднепоздняя	13,78	16,19	15,04	0,68
Содержание клейковины, %	среднеранняя	25,8	28,7	27,0	0,97
	среднеспелая	25,3	28,9	26,8	1,00
	среднепоздняя	25,5	29,1	27,2	1,11
SDS-седиментация, мл	среднеранняя	33	45	38	4,32
	среднеспелая	32	44	36	2,92
	среднепоздняя	32	42	36	3,15
Содержание каротиноидов, мкг/%	среднеранняя	512	624	567	39,40
	среднеспелая	513	660	562	40,05
	среднепоздняя	480	609	552	35,14

В среднем за три года высокое содержание белка отмечено у среднеранних сортов (15,24 %). Необходимо отметить, что изучаемые нами сорта по данному признаку соответствовали требованиям макаронно-крупяного производства.

Содержание клейковины у среднеранних сортов озимой твердой пшеницы в экологическом испытании находилось в пределах

от 25,8 до 28,7 %, у среднеспелых – от 25,3 до 28,9 %, у среднепоздних – от 25,5 до 29,1 %.

В среднем по данному признаку высокие показатели отмечены у сортов среднеранней (27,0 %) и среднепоздней (27,2 %) групп спелости.

У среднеранних сортов озимой твердой пшеницы в экологическом испытании показатель «SDS-седиментация» находился в пре-

делах от 33 до 45 мл, у среднеспелых – от 32 до 44 мл, у среднепоздних – от 32 до 42 мл. В среднем за изучаемый период высокий показатель по данному признаку отмечен у образцов среднеранней группы спелости (38 мл).

Главная отличительная особенность в требованиях к качеству зерна твердых пшениц – высокое содержание каротиноидных пигментов (Мальчиков и др., 2016). Содержание каротиноидов у различных групп спелости находилось в пределах: у среднеранних образцов – от 512 до 624 Мкг/%, среднеспелых – от 513 до 660 Мкг/%, среднепоздних – от 480

до 609 Мкг/%. За изучаемый период высокие показатели данного признака (777 Мкг/%) в опыте сформировали раннеспелые сорта озимой твердой пшеницы.

Зерно твердых пшениц должно иметь высокую стекловидность и натуру (форма и крупность), так как от этих факторов зависит выход макаронной крупки. В среднем за три года высокую стекловидность в опыте сформировали сорта среднеспелой группы (78 %), незначительно по данному признаку уступили среднеранние и среднепоздние образцы (77 %) (рис. 2).



Рис 2. Стекловидность (%) и натура зерна (г/л) сортов озимой твердой пшеницы различных групп спелости в экологическом испытании, 2020–2022 гг.

Fig. 2. Kernel hardness (%) and grain unit (g/l) of winter durum wheat varieties of various maturity groups in an environmental testing, 2020–2022

Натура зерна в опыте варьировала от 769 до 777 г/л. За 2020–2022 гг. высокая натура (777 г/л) выявлена у среднеспелых образцов озимой твердой пшеницы.

В ходе исследований был проведен корреляционный анализ даты колошения с изученными показателями разных групп спелости (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционные взаимосвязи даты колошения, урожайности и качественных показателей сортов озимой твердой пшеницы (2020–2022 гг.)
Table 3. Correlations between the date of a heading stage, productivity, and quality indicators of winter durum wheat varieties (2020–2022)

Признак	Среднеранняя группа спелости	Среднеспелая группа спелости	Среднепоздняя группа спелости
Урожайность, т/га	0,15	0,10	0,24
Содержание белка, %	0,95*	0,15	0,18
Содержание клейковины, %	0,94*	0,10	0,24
Натура, г/л	0,17	–0,11	0,07
Стекловидность, %	0,48*	0,05	0,41*
SDS-седиментация, мл	0,92*	0,08	0,17
Содержание каротиноидов, мкг/%	0,96*	0,04	0,17

Примечание. * – отмеченные корреляции значимы на уровне $p < ,05000$.

Достоверные положительные взаимосвязи были получены: среднеранней – содержанием белка ($r = 0,95 \pm 0,04$), содержанием клейковины ($r = 0,94 \pm 0,04$), стекловидностью ($r = 0,48 \pm 0,12$), SDS-седиментацией ($r = 0,92 \pm 0,04$), содержанием каротиноидов ($r = 0,96 \pm 0,04$); среднепоздней – стекловидностью ($r = 0,41 \pm 0,13$). У среднеспелой группы достоверных связей не было отмечено.

Выводы.

Исследованиями установлено, что в условиях юга Ростовской области максимальную урожайность сформировали среднеспелые сорта озимой твердой пшеницы. По таким признакам, как содержание белка и клейковины, SDS-седиментация и содержание каротиноидов, преимущество было у образцов средне-

ранней группы спелости, а по стекловидности и натуре зерна – среднеспелой.

Достоверные положительные взаимосвязи были получены у образцов среднеранней группы спелости – содержанием белка ($r = 0,95 \pm 0,04$), содержанием клейковины ($r = 0,94 \pm 0,04$), стекловидностью ($r = 0,48 \pm 0,12$), SDS-седиментацией ($r = 0,92 \pm 0,04$), содержанием каротиноидов ($r = 0,96 \pm 0,04$) и среднепоздней – стекловидностью ($r = 0,41 \pm 0,13$). У среднеспелой группы достоверных связей не было отмечено.

Стоит отметить, что изучаемые нами сорта озимой твердой пшеницы по качественным показателям соответствуют требованиям макаронно-крупяного производства.

Библиографические ссылки

1. Захарова Н. Н., Захаров Н. Г. Сортотипная дифференциация озимой мягкой пшеницы по группам спелости в лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2 (50). С. 91–97. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-91-97.
2. Иванисов М. М., Марченко Д. М., Некрасов Е. И., Рыбась И. А., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю., Кравченко Н. С. Сравнительная оценка сортов озимой мягкой пшеницы в межстанционном испытании по показателям качества // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 14–18. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-14-18.
3. Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Некрасов Е. И., Ионова Е. В., Гричаникова Т. А., Романюкина И. В., Дерова Т. Г. Лидия – универсальный сорт озимой мягкой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4(20). С. 70–78. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-70-78.
4. Некрасов Е. И., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Романюкина И. В., Кирил А. В., Кравченко Н. С. Урожайность и белково-клейковинный комплекс сортов озимой мягкой пшеницы // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 4(28). С. 119–128. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-119-128.
5. Fedosenko D. F., Nikitina V. I. The duration of the growing season for samples of spring soft wheat of Siberian selection // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, Article number 042095. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042095.
6. Lozhkin A. G., Makushev A. E., Vasiliev O. A., Shashkarov L. G., Pushkarenko N. N., Malchikov P. N. Evaluation of spring durum wheat varieties by yield, structure and grain quality // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 433(1), Article number 012045. DOI: 10.1088/1755-1315/433/1/012045.

References

1. Zakharova N. N., Zakharov N. G. Sortovaya differentsiatsiya ozimoi myagkoi pshenitsy po gruppam spelosti v lesostepi srednego Povolzh'ya [Varietal differentiation of winter bread wheat according to maturity groups in the forest-steppe of the middle Volga region] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2020. № 2(50). S. 91–97. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-2-91-97.
2. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Nekrasov E. I., Rybas' I. A., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu. Yu., Kravchenko N. S. Sravnitel'naya otsenka sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v mezhstantsionnom ispytanii po pokazatelyam kachestva [Comparative estimation of winter bread wheat varieties in inter-station testing according to quality indicators] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 4(70). S. 14–18. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-14-18.
3. Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Rybas' I. A., Nekrasov E. I., Ionova E. V., Grichanikova T. A., Romanyukina I. V., Derova T. G. Lidiya – universal'nyi sort ozimoi myagkoi pshenitsy [Lidiya is a versatile winter bread wheat variety] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2019. № 4(20). S. 70–78. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-70-78.
4. Nekrasov E. I., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Romanyukina I. V., Kirin A. V., Kravchenko N. S. Urozhainost' i belkovo-kleikovinnyi kompleks sortov ozimoi myagkoi pshenitsy [Productivity and protein-gluten complex of winter bread wheat varieties] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2021. № 4(28). S. 119–128. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-119-128.
5. Fedosenko D. F., Nikitina V. I. The duration of the growing season for samples of spring soft wheat of Siberian selection // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, Article number 042095. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042095.
6. Lozhkin A. G., Makushev A. E., Vasiliev O. A., Shashkarov L. G., Pushkarenko N. N., Malchikov P. N. Evaluation of spring durum wheat varieties by yield, structure and grain quality // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 433(1), Article number 012045. DOI: 10.1088/1755-1315/433/1/012045.

Поступила: 26.01.23; доработана после рецензирования: 10.02.23; принята к публикации: 10.02.23.

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. Иванисова А. С. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Иличкина Н.П., Самофалова Н. Е. – общее научное руководство, концептуализация исследований; Кабанова Н.В. – сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Кирина И. М. – биохимический анализ.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ РЕГЕНЕРАНТНЫХ ЛИНИЙ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В КУЛЬТУРЕ ПЫЛЬНИКОВ *IN VITRO*

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

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

В. Ю. Донцова, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, dontsova.vale4ka@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

Д. М. Марченко, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903
ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Эффективность метода культуры пыльников *in vitro* во многом зависит от отзывчивости сортов и гибридов на индукцию андрогенеза. Цель исследований – провести оценку результативности гаплопродукции регенерантных линий (R_0) озимой мягкой пшеницы, полученных методом культуры пыльников *in vitro* и выращенных в условиях теплицы. Для выполнения указанной цели была поставлена следующая задача: выполнить морфометрическую оценку полученных колосов (R_0) для определения уровня их фертильности. Работу проводили в лаборатории клеточной селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021–2022 годах. Объектом исследования послужили 7 гибридных комбинаций озимой пшеницы, которые были отзывчивы на андрогенез *in vitro* в культуре изолированных пыльников. В результате индуцированного андрогенеза на искусственной питательной среде было получено 333 новообразования, представленных каллусами, эмбриоидами и эмбриогенными комплексами. Зеленые растения-регенеранты были проаровизированы в пробирках, расклонированы, дилоидизированы, затем пересажены в почву. Получено 13 гаплоидных линий, из них выжившими после диплоидизации оказались 34 растения. Самая высокая гаплопродукционная способность выявлена у гибридной комбинации F_3 Ростовчанка 7 х Безостая 100. В этой комбинации образовалось 8 зеленых регенерантов, из которых вместе с клонами получено 21 растение (выжили из них 18 шт.). В результате цитометрической оценки всего по гибридным комбинациям идентифицировано 25 дигаплоидных ($2n = 42$) и 16 гаплоидных ($n = 21$) растений пшеницы, в том числе по комбинации Ростовчанка 7 х Безостая 100 – 13 дигаплоидов. В результате структурного анализа и морфометрической оценки колоса выявлена разная степень фертильности андрогенных растений-регенерантов. Установлена перспективность использования в дальнейшей селекционной работе дигаплоидной линии 79.2.1.2 на основе гибридной комбинации F_3 Ростовчанка 7 х Безостая 100 с наибольшими значениями таких элементов продуктивности, как число колосов, число и масса зерен с колоса.

Ключевые слова: озимая пшеница, растение-регенерант, гаплоид, дигаплоид, гаплопродукция, фертильность.

Для цитирования: Черткова Н. Г., Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Марченко Д. М. Оценка результативности получения регенерантных линий озимой мягкой пшеницы в культуре пыльников *in vitro* // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 76–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-76-81.



ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF DEVELOPING REGENERATIVE WINTER BREAD WHEAT LINES IN ANTHER CULTURE *IN VITRO*

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

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

V. Yu. Dontsova, junior researcher of the laboratory for cell breeding, dontsova.vale4ka@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

D. M. Marchenko, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of winter wheat breeding and seed production, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The efficiency of the anther culture method *in vitro* largely depends on the responsiveness of varieties and hybrids to the induction of androgenesis. The purpose of the current study was to estimate the efficiency of haploproduction of regenerated lines (R_0) of winter bread wheat developed by anther culture *in vitro* and grown in a greenhouse. To achieve this goal, there was set a task to conduct a morphometric estimation of the developed heads (R_0) to identify their fertility level. The study was carried out in the laboratory of cell breeding of the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" in 2021–2022. The objects of the study were 7 hybrid combinations of winter wheat, which were responsive to androgenesis *in vitro* in the culture of isolated anthers. As a result of induced androgenesis on an artificial nutrient medium, there were identified 333 neoplasms, represented by calluses, embryoids and embryogenic complexes. Green regenerated plants were vernalized in test tubes, cloned, diloidized, then planted into soil. There were obtained

13 haploid lines, after diploidization only 34 plants survived. The highest haploproductive capacity was established in the hybrid combination F_3 'Rostovchanka 7xBezostaya 100'. In this combination, there were formed 8 green regenerants, 21 plants of which were developed together with clones, 18 of which survived. The cytometric estimation has shown, that 25 dihaploid ($2n = 42$) and 16 haploid ($n = 21$) wheat plants have been identified by hybrid combinations, including 13 dihaploids from the combination 'Rostovchanka 7xBezostaya 100'. As a result of the structural analysis and morphometric estimation of the head there has been found a different fertility degree of androgenic regenerated plants. There have been established prospects of using the dihaploid line '79.2.1.2' in further breeding work based on the hybrid combination F_3 'Rostovchanka 7xBezostaya 100' with the highest values of such yield elements as 'number of heads', 'number and weight of grains per head'.

Keywords: winter wheat, regenerated plant, haploid, dihaploid, haploproduction, fertility.

Введение. Пшеница – это одна из важнейших сельскохозяйственных культур во всем мире. Миллионы людей употребляют пшеницу в качестве основного продукта питания. Выведение новых сортов с более высокими качественными и количественными показателями занимает порядка 10 лет. В последнее время в селекции озимой пшеницы применяют современные биотехнологические методы, которые позволяют ускорить процесс выведения сорта. Эти технологии, в частности культура пыльников *in vitro*, дают возможность получить дигаплоидные линии на основе гаплоидных растений при удвоении числа хромосом. Полученные дигаплоидные линии уникальны, и в повторных генерациях возможно отобрать генотипы с нужными признаками и детально их изучить (Осадчая и др., 2016; Grauda et al., 2016).

Результативность метода культуры пыльников *in vitro* во многом зависит от отзывчивости сортов и гибридов на индукцию андрогенеза. Таким образом, зависимость от генотипа не позволяет обеспечить предсказуемость результатов и подталкивает исследователей на поиски возможной активации морфогенетической компетентности гибридных комбинаций пшеницы в условиях *in vitro* (Круглова и др., 2017; Khumalo et al., 2022).

Одним из вариантов повышения эффективности гаплопродукции является получение не единичных проростков из эмбриоподобных структур или каллусов, а кластеров, источниками которых являются эмбриогенные комплексы. Преимущество их заключается в том, что из них регенерируют целые семьи растений. Растения из одного кластера могут быть как генетически идентичными, так и гетерогенными (Bustos et al., 2013; Круглова и др., 2022).

При использовании дигаплоидных растений экспрессия рецессивных аллелей не блокируется и не маскируется доминантными аллелями, что позволяет получить более точную картину разнообразия, присутствующего в гаметических клетках (Scagliusi, 2014). Однако для растений-регенерантов, полученных из клеток гамет в условиях *in vitro*, характерно проявление гаметоклональной изменчивости. К таким проявлениям относится возникновение альбиносных растений. Мутации в ядерном геноме и цитогенетическая изменчивость приводят к стерильности или снижению фертильности дигаплоидных растений. Удвоение числа хромосом у регенерантных проростков обеспечивает восстановление их

фертильности, поэтому для создания дигаплоидных линий актуально отбирать растения после изучения завязываемости семян в колосе и цитологической оценки (Осадчая и др., 2016; Петраш и др., 2022).

Цель исследований – оценить результативность гаплопродукции регенерантных линий (R_0) озимой мягкой пшеницы, полученных методом культуры пыльников *in vitro* и выращенных в условиях теплицы. Для выполнения указанной цели была поставлена следующая задача: провести морфометрическую оценку полученных колосьев (R_0) для определения уровня их фертильности.

Материалы и методы исследований.

Объектом исследования послужили 7 гибридных комбинаций F_3 озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» лаборатории интенсивного и полунтенсивного типа: 586/13 х Алексеич, Ростовчанка 7 х Безостая 100, 1585/16 х Княгиня Ольга, Гигант х Краса Дона, Вольница х Герда, Капитан х Амбар, Капитан х Вольный Дон. Они были отзывчивы на андрогенез *in vitro* в культуре изолированных пыльников (то есть сформировали эмбриогенные структуры, из которых получены зеленые растения-регенеранты). Зеленые регенеранты выращивали по общепринятой методике (Методические рекомендации по получению гаплоидных растений мягкой пшеницы в культуре пыльников, 1989). Растения с хорошо развитой корневой системой яровизировали в пробирках в бытовом холодильнике 40–50 дней при температуре 4 °C (Акинина и др., 2020). Потом они были перенесены в световую комнату на стеллажи на 10–14 дней для возобновления процесса фотосинтеза. Зеленые регенеранты извлекали из пробирок, отмывали корни от агара и аккуратно высаживали в вегетационные сосуды, наполненные смесью из предварительно просеянной почвы, песка и торфа (1:1:1). Для поддержания влажности их прикрывали стаканами. В течение трех недель растения подкармливали жидкой средой MS (наполовину разбавленной водой), проводили закаливание. Так их подготавливали к диплоидизации и пересадке в теплицу.

Хорошо раскустившиеся кластеры растений-регенерантов были расклонированы. Плоидность регенерантов определяли с помощью проточного цитофлуориметра Guava Muse. Метод проточной цитометрии основан на использовании ДНК-специфических флуорохромов относительной интенсивности флуоресценции окрашенных ядер, получил ши-

рокое распространение в культуре пыльников *in vitro*. Уровень плоидности каждого образца оценивали путем сравнения пиков гистограммы. В качестве контроля использовали образцы озимой мягкой пшеницы стандартного генотипа ($2n = 42$).

Диплоидизацию растений проводили путем колхицинирования методом погружения корней в раствор колхицина (0,2 % с ДМСО) и высаживали в почву. Регенеранты выращивали при тщательном уходе. Появляющиеся колосья изолировали пергаментными изоляторами до созревания в них зерен. После созревания колосья срезали и проводили морфометрическую оценку для оценки фертильности. Статистическую обработку данных выполняли с помощью программы Excel.

Результаты и их обсуждение. В предыдущей нашей работе в результате индуцированного андрогенеза на искусственной питательной среде было получено 333 новообразования из 7 гибридных комбинаций озимой мягкой пшеницы. Новообразования были представлены каллусами, эмбриоидами и эмбриогенными комплексами с варьированием частоты по генотипам от 0,5 до 26 % (Калинина, 2021).

В процессе исследований в условиях теплицы было получено 13 гаплоидных линий, представленных 14 зелеными регенерантами. После проведения клонирования растений-регенерантов из эмбриогенных комплексов всего было получено 41 растение, 7 шт. (17 %) из них погибли после обработки колхицином. Количество хорошо развитых растений составило 34 шт. (табл. 1).

Таблица 1. Гаплопродукционная способность гибридных комбинаций F_3 озимой мягкой пшеницы (2022 г.)
Table 1. Haploproductive capacity of hybrid combinations F_3 of winter bread wheat (2022)

№ п/п	Гибридная комбинация	Гаплоидная линия	Количество зеленых регенерантов, шт.	Количество растений, в том числе клонов, до обработки колхицином, шт.	Количество растений, выживших, после диплоидизации, шт.
1	586/13 х Алексеич	85.2.1.1	1	1	1
2	Ростовчанка 7 х Безостая 100	79.1.5.1	1	8	6
3	Ростовчанка 7 х Безостая 100	79.1.5.2	1	3	3
4	Ростовчанка 7 х Безостая 100	79.1.5.3	1	2	2
5	Ростовчанка 7 х Безостая 100	79.1.6.1	1	1	1
6	Ростовчанка 7 х Безостая 100	79.3.4.1	2	2	2
7	Ростовчанка 7 х Безостая 100	79.2.1.1	1	3	2
8	Ростовчанка 7 х Безостая 100	79.2.1.2	1	2	2
9	1585/16 х Княгиня Ольга	84.3.1.1	1	8	5
10	Гигант х Краса Дона	80.2.5.1	1	3	3
11	Вольница х Герда	78.3.2.1	1	6	5
12	Капитан х Амбар	72.3.3.1	1	1	1
13	Капитан х Вольный Дон	91.1.5.1	1	1	1
Сумма			14	41	34

Самая высокая гаплопродукционная способность выявлена у гибридной комбинации F_3 Ростовчанка 7 х Безостая 100. В этой комбинации образовалось 8 зеленых регенерантов, из которых вместе с клонами получено 21 растение, из них выжило 18 шт. У гибридных комбинаций 586/13 х Алексеич, Капитан х Амбар, Капитан х Вольный Дон оказалась самая низкая гаплопродукционная способность – по одному регенеранту и соответственно по одному растению.

После обработки колхицином у части гибридных комбинаций не произошло удвоение

количества хромосом, то есть не все растения стали дигаплоидами. В результате исследований получено 23 дигаплоидных ($2n = 42$) и 11 гаплоидных ($n = 21$) растений пшеницы (рис. 1).

Известно, что гаплоидные растения имеют стерильные цветки либо вообще не дают колос. По результатам морфологической оценки колосьев и в соответствии с цитометрическим анализом все зеленые растения (клоны) разделили на фертильные (с семенами) и стерильные растения (без семян) (рис. 2).

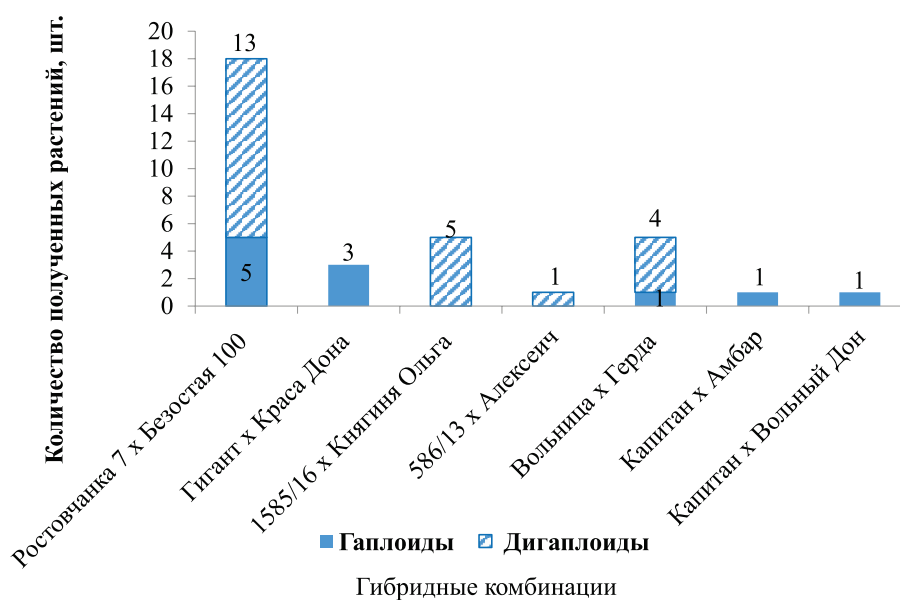
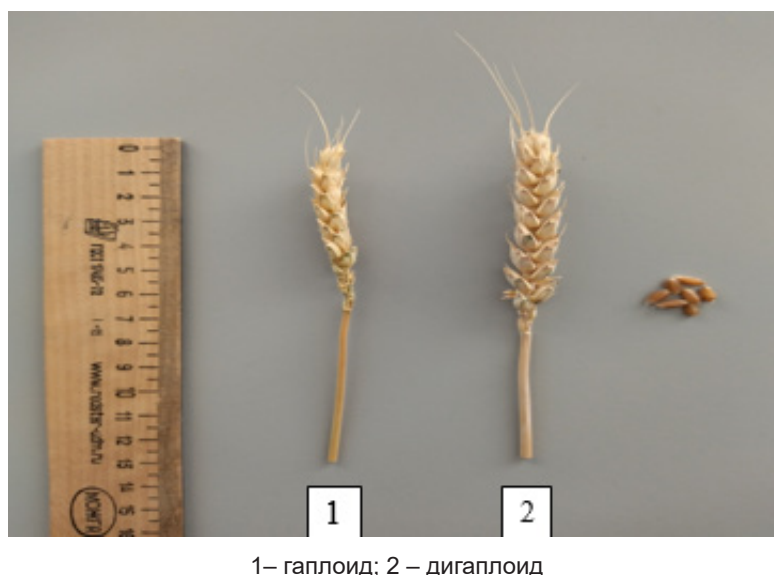


Рис. 1. Пloidность растений-регенерантов озимой мягкой пшеницы (2022 г.)
Fig. 1. Ploidy of the regenerated winter bread wheat plants (2022)



1 – гаплоид; 2 – дигаплоид

Рис. 2. Морфологические признаки колосьев растений-регенерантов озимой мягкой пшеницы различной пloidности

Fig. 2. Morphological traits of the regenerated winter bread wheat plants' heads of different ploidy

В фенофазу полной спелости зерна была проведена морфометрическая оценка показателей колоса 13 каллусных линий, а именно 34 клонов. В результате оценки установлено, что у всех регенерантных линий выход семян был относительно низким. Анализ данных показал, что часть колосьев имела значительную

пустозерность и щуплость зерновок. Также были каллусные линии 72.3.3.1 и 91.1.5.1, которые не образовали колосьев. Каллусные линии 80.2.5.1 (3 колоса) и 79.1.5.3 (2 колоса) не образовали ни одной зерновки, то есть были полностью стерильны (табл. 2).

Таблица 2. Морфометрические показатели колоса андрогенных каллусных линий озимой пшеницы поколения R_0 в условиях теплицы (2022 г.)
Table 2. Morphometric parameters of the head of androgenic callus lines of winter wheat generation R_0 in a greenhouse (2022)

№ п/п	Каллусная линия	Число клонов, шт.	Число колосьев, шт.	Длина колоса, см	Кол-во колосков в колосе, шт.	Кол-во зерен в колосе, шт.	Масса зерен в колосе, г
1	85.2.1.1	1	4	8,4	23,4	18,8	0,77
2	79.1.5.1	6	14	5,4	16,2	8,4	0,28

Продолжение табл. 2

№ п/п	Каллусная линия	Число клонов, шт.	Число колосьев, шт.	Длина колоса, см	Кол-во колосков в колосе, шт.	Кол-во зерен в колосе, шт.	Масса зерен в колосе, г
3	79.1.5.2	3	17	5,8	18,8	4,4	0,11
4	79.1.5.3	2	2	5,4	17,5	0	0
5	79.1.6.1	1	3	7,0	19,7	22,7	0,49
6	79.3.4.1	2	6	5,6	18,2	14,8	0,34
7	79.2.1.1	2	7	5,8	16,3	13,5	0,50
8	79.2.1.2	2	5	8,1	22,4	30,0	0,97
9	84.3.1.1	5	15	5,9	13,0	10,6	0,28
10	80.2.5.1	3	7	6,8	21,6	0	0
11	78.3.2.1	5	10	5,9	14,2	15,1	0,36
12	72.3.3.1	1	0	0	0	0	0
13	91.1.5.1	1	0	0	0	0	0
Среднее		–	4,4	5,4	14,8	7,8	0,21
Стандартное отклонение		–	3,2	2,6	7,4	7,2	0,19
Область разброса индивидуальных значений		–	±0,89	±0,72	±2,06	±2,0	±0,05

Варьирование по признаку число колосьев составило от 0 до 17 шт., превышение на величину стандартного отклонения по сравнению со средней отмечено у трех каллусных линий: 79.1.5.1 (14 шт.), 79.1.5.2 (17 шт.), 84.3.1.1 (15 шт.). По признакам «длина колоса» и «количество колосков в колосе» выделились каллусные линии 85.2.1.1 и 79.2.1.2 со значениями 8,4 см – 23,4 шт. и 8,1 см – 22,4 шт. соответственно. Максимальные значения по признакам «количество зерен» и «масса зерна в колосе» отмечены у каллусных линий 79.2.1.2 (30 шт. и 0,97 г.), 79.1.6.1 (22,7 шт. и 0,49 г.) и 85.2.1.1 (18,8 шт. и 0,77 г.). Масса зерна с колосьев во всех комбинациях не превышала 1 г. Морфологические признаки каллусных линий изменялись на величину стандартного отклонения.

Таким образом, полученные данные показали разный уровень фертильности андрогенных растений-регенерантов. Выявлена перспективная для дальнейшей селекционной работы дигаплоидная линия 79.2.1.2 из гибридной комбинации F_3 Ростовчанка 7 х Безостая 100 с наибольшими значениями таких элемен-

тов продуктивности, как число колосьев, число и масса зерен с колоса.

Все полученные каллусные линии, характеризующиеся высокой фертильностью, представляют интерес, поскольку они отзывчивы к андрогенезу. Семена R_1 высеяны на экспериментальной площадке для дальнейшего изучения и отбора ДГ-линий, сохраняющих высокий уровень фертильности при селекционных испытаниях.

Выводы. В результате проведенных исследований с использованием гаплоидной технологии на основе культуры пыльников *in vitro* были получены эмбриониды, морфогенные каллусы и растения-регенеранты, из которых были созданы дигаплоидные линии озимой мягкой пшеницы на основе 7 гибридных комбинаций. Из отдельных андрогенных структур было выращено 14 растений-регенерантов. В результате их клонирования получено 34 растения-клона. Проведена морфометрическая оценка колосьев растений озимой пшеницы R_0 , выращенных в условиях теплицы. Выявлена высокая способность гаплопродукции и фертильности колосьев у гибридной комбинации F_3 Ростовчанка 7 х Безостая 100.

Библиографические ссылки

- Акинина В. Н., Дьячук Т. И., Жилин С. В., Калашникова Э. В. Методы культуры ткани *in vitro* для создания исходного материала для селекции тритикале в Поволжье // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 64–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-64-68.
- Калинина Н. В. Создание гаплоидов в культуре пыльников озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 6(78). С. 21–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-21-26.
- Круглова Н. Н., Сельдиминова О. А., Зайцев Д. Ю., Галин И. Р., Зинатуллина А. Е., Анохина Н. С. Развитие андроклиных растений пшеницы в лабораторных условиях *in vitro* и *ex vitro* // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. № 3. С. 21–25.
- Круглова Н. Н., Сельдиминова О. А. Эмбриогенез *in vivo* засухоустойчивых регенерантов яровой мягкой пшеницы, полученных в эмбриокультуре *in vitro* // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1 (29). С. 65–78.
- Осадчая Т. С., Трубочеева Н. В., Кравцова Л. А., Белан И. А., Россеева Л. П., Першина Л. А. Изучение фертильности и цитогенетической изменчивости у андрогенных растений (R_0 и R_1) аллоплазматических интрогрессивных линий мягкой пшеницы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016. Т. 20, № 3. С. 370–377. DOI: 10.18699/VJ16.165.
- Петраш Н. В., Орлова Е. А., Лихенко И. Е., Пискарев В. В. Изучение эффективности культуры пыльников *in vitro* сортов и гибридов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 6. С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-17-22.

7. Bustos D.V., Hasan A.K., Reynolds M.P., Calderini D.F. Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments // *Field Crops Research*. 2013. Vol. 145, P. 106–115. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.01.015.

8. Grauda D., Žagata K., Lanka G., Strazdina V., Fetere V., Lisina N., Krasnevskaya N., Fokina O., Mikelson A., Ornican R., Belogradova I., Rashal I. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants-regenerants produced by anther culture. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii*=Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. Vol 20(4), P. 537–544. DOI: 10.18699/VJ16.176.

9. Khumalo T.P., Barnard A., Dube E., Tsilo T.J. Characterization of vegetative vigor of two doubled-haploid wheat populations // *Journal of Crop Improvement*. 2022. Vol. 36, № 3. P. 350–368. DOI: 10.1080/15427528.2021.1970675.

10. Scagliusi S.M. Establishing isolated microspore culture to produce doubled haploid plants in Brazilian wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Brazilian Agricultural Research Corporation*. 2014. Vol. 8(6), P. 101–109.

References

1. Akinina V.N., D'yachuk T. I., Zhilin S.V., Kalashnikova E.V. Metody kul'tury tkani *in vitro* dlya sozdaniya iskhodnogo materiala dlya selekcii tritikale v Povolzh'e [Methods of tissue culture *in vitro* for developing initial material for triticale breeding in the Volga region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 1(67). S. 64–68. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-64-68.

2. Kalinina N.V. Sozdanie gaploidov v kul'ture pyl'nikov ozimoi myagkoi pshenitsy [Development of haploids in the anther culture of winter bread wheat] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 6(78). S. 21–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-78-6-21-26.

3. Kruglova N.N., Sel'dimirova O. A., Zaitsev D. Yu., Galin I. R., Zinatullina A. E., Anokhina N. S. Razvitie androklennykh rastenii pshenitsy v laboratornykh usloviyakh *in vitro* i *ex vitro* [Development of androclonic wheat plants under laboratory conditions *in vitro* and *ex vitro*] // *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017. № 3. S. 21–25.

4. Kruglova N.N., Sel'dimirova O.A. Embriogeneza *in vivo* zasukhoustoichivyykh regenerantov yarovoi myagkoi pshenitsy, poluchennykh v embriokul'ture *in vitro* [Embryogenesis *in vivo* of drought-resistant spring bread wheat regenerants developed in embryo culture *in vitro*] // *Tavrcheskii vestnik agrarnoi nauki*. 2022. №. 1 (29). S. 65. EDN HEBDGL.

5. Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V., Kravtsova L.A., Belan I.A., Rosseeva L.P., Pershina L.A. Izuchenie fertil'nosti i tsitogeneticheskoi izmenchivosti u androgennykh rastenii (R_0 i R_1) alloplazmaticheskikh introgressivnykh linii myagkoi pshenitsy [Study of fertility and cytogenetic variability in androgenic plants (R_0 and R_1) of alloplasmic introgressive bread wheat lines] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selekcii*. 2016. T. 20, № 3. S. 370–377. DOI: 10.18699/VJ16.165.

6. Petrash N.V., Orlova E.A., Likhenko I.E., Piskarev V.V. Izuchenie effektivnosti kul'tury pyl'nikov *in vitro* sortov i gibridov myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) [Study of the efficiency of anther culture of bread wheat varieties and hybrids *in vitro* (*Triticum aestivum* L.)] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2022. T. 14, № 6. S. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-83-6-17-22.

7. Bustos D.V., Hasan A.K., Reynolds M.P., Calderini D.F. Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments // *Field Crops Research*. 2013. Vol. 145, P. 106–115. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.01.015.

8. Grauda D., Žagata K., Lanka G., Strazdina V., Fetere V., Lisina N., Krasnevskaya N., Fokina O., Mikelson A., Ornican R., Belogradova I., Rashal I. Genetic diversity of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants-regenerants produced by anther culture. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii*=Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016. Vol 20(4), P. 537–544. DOI: 10.18699/VJ16.176.

9. Khumalo T.P., Barnard A., Dube E., Tsilo T.J. Characterization of vegetative vigor of two doubled-haploid wheat populations // *Journal of Crop Improvement*. 2022. Vol. 36, № 3. P. 350–368. DOI: 10.1080/15427528.2021.1970675.

10. Scagliusi S.M. Establishing isolated microspore culture to produce doubled haploid plants in Brazilian wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Brazilian Agricultural Research Corporation*. 2014. Vol. 8(6), P. 101–109.

Поступила: 20.01.23; доработана после рецензирования: 17.02.23; принята к публикации: 17.02.23.

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. Калинина Н.В. – постановка цели и задач, формирование методологии исследования и концепции статьи, финальная доработка текста; Чертова Н.Г., Донцова В.Ю. – выполнение лабораторных опытов, сбор, анализ литературных и лабораторных данных, подготовка рукописи; Марченко Д.М. – предоставление материала для исследований, критический анализ текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ

Г. Я. Кривошеев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

А. С. Игнатьев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;

А. Г. Горбачева², доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела первичного и элитного семеноводства, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;

И. А. Ветошкина², старший научный сотрудник отдела первичного и элитного семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-8040-7040;

Н. А. Орлянская³, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ORCID ID: 0000-0002-9456-6640;

О. Н. Панфилова⁴, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ORCID ID: 0000-0001-9417-6717

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

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы», 357528, г. Пятигорск, ул. Ермолова, 14-Б; e-mail: 976067@mail.ru;

³ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы» (Воронежский филиал), 396835, Воронежская обл., Хохольский р-н, п. Опытной станции ВНИИК; e-mail: vf-nauka@yandex.ru;

⁴Поволжский филиал ФГБНУ ВНИИОЗ, 403121, Волгоградская область, Урюпинский р-он, п. Учхоз; e-mail: filialpovolg@rambler.ru

Изучение десяти родительских форм гибридов кукурузы проведено в 2017–2019 гг. в пяти контрастных по метеоусловиям пунктах испытания: ФГБНУ «АНЦ «Донской», Ростовская обл.; ФГБНУ ВНИИ кукурузы, Ставропольский край; Поволжский филиал ФГБНУ ВНИИОЗ, Волгоградская обл.; Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы, Воронежская обл.; ООО «Лидер», Волгоградская обл. Цель исследований – оценить параметры экологической пластичности и стабильности, используя пункты, контрастные по увлажнению, оценить продуктивный потенциал родительских форм – стерильных простых гибридов кукурузы для оптимизации их дальнейшего использования в селекционно-семеноводческом процессе. Максимальную урожайность зерна родительские простые гибриды сформировали в Воронежском филиале ВНИИ кукурузы, где сложились наиболее благоприятные условия – индекс среды $I_j = +2,2$, наименьший урожай сформирован в условиях «АНЦ «Донской», $I_j = -2,3$. Выделены родительские формы (Мая М и Престиж М) с высокой потенциальной урожайностью зерна (9,1–9,5 т/га). Выявлены родительские формы Алмаз М, Аврора С, Милена М, Мирт М, Мальвина С, Радуга С, Престиж М, Мая М с высокой экологической пластичностью ($bi = 1,03–1,37$), высокой отзывчивостью на благоприятные условия выращивания. Их рекомендуется использовать для создания гибридов кукурузы интенсивного типа. Среди них наиболее высокой гибкостью отличались гибриды Мирт М и Престиж М ($Y_{max} + Y_{min} = 6,2–6,8$). Выделены родительские формы (Альфа М и Исток С) с низкой пластичностью ($bi = 0,76–0,77$), но в то же время высокой экологической стабильностью ($\sigma^2 d = 0,16–0,20$), высокой стрессоустойчивостью ($Y_{min} - Y_{max} = -3,0–3,1$). Они предпочтительны для селекции гибридов кукурузы экстенсивного типа для выращивания в менее благоприятных условиях. Лучшей гомеостатичностью характеризовался гибрид Исток С ($Hom = 4$).

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays* L.), родительские формы, экологическая пластичность, стабильность, гомеостатичность, стрессоустойчивость.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Горбачева А. Г., Ветошкина И. А., Орлянская Н. А., Панфилова О. Н. Параметры экологической пластичности и стабильности родительских форм гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 82–88. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-82-88.



PARAMETERS OF ENVIRONMENTAL ADAPTABILITY AND STABILITY OF PARENTAL FORMS OF MAIZE HYBRIDS

G. Ya. Krivosheev¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

A. S. Ignatiev¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600;

A. G. Gorbacheva², Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the department of primary and basic seed production, ORCID ID: 0000-0001-9936-4565;

I. A. Vetoshkina², senior researcher of the department of primary and basic seed production, ORCID ID: 0000-0002-8040-7040;

N. A. Orlyanskaya³, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of maize breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-9456-6640;

O. N. Panfilova⁴, Candidate of Agricultural Sciences, director, ORCID ID: 0000-0001-9417-6717

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok street, 3; email: vniizk30@mail.ru;

²FSBSI "All-Russian research institute of maize",

357528, Pyatigorsk, Yermolova Str., 14-B, e-mail: 976067@mail.ru;

³FSBSI "All-Russian research institute of maize" (Voronezh branch),

396835, Voronezh region, Khokholsky district, V. of Experimental station ARRIM; e-mail: vf-nauka@yandex.ru;

⁴Povolzhsky branch of FSBSI ARRIWG,

403121, Volgograd region, Uryupinsky district, V. of Uchkhoz; e-mail: filialpovolg@rambler.ru

The study of ten parental forms of maize hybrids was carried out in 2017–2019 at five testing establishments with contrasting weather conditions, namely FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov Region; FSBSI "All-Russian research institute of maize", Stavropol Territory; Povolzhsky branch of FSBSI ARRIWG, Volgograd region; FSBSI "All-Russian research institute of maize" (Voronezh branch), Voronezh Region; LLC "Leader", Volgograd region. The purpose of the current study was to estimate the parameters of environmental adaptability and stability, using contrasting moisture points, to evaluate the productive potential of parental forms, i.e. sterile simple maize hybrids to optimize their further use in the breeding and seed production process. The parental forms formed the maximum grain productivity in the Voronezh branch of the All-Russian research institute of maize, where there were formed the most favorable conditions with the environmental index $I_j = +2.2$; the smallest productivity was formed under the conditions of the ARC "Donskoy" with $I_j = -2.3$. There have been identified the parental forms ('Maya M' and 'Prestizh M') with a high potential grain productivity (9.1...9.5 t/ha). There have been identified the parental forms 'Almaz M', 'Aurora S', 'Milena M', 'Mirt M', 'Malvina S', 'Raduga S', 'Prestizh M', 'Maya M' with high environmental adaptability ($b_i = 1.03...1.37$), high responsiveness to favorable growing conditions. They have been recommended to be used to develop maize hybrids of intensive type. Among them, there have been identified the most adaptable hybrids 'Mirt M' and 'Prestizh M' with $Y_{\max} + Y_{\min} = 6.2...6.8$. There have been identified the parental forms 'Alfa M' and 'Istok S' with low adaptability ($b_i = 0.76...0.77$), but at the same time with high environmental adaptability ($\sigma_d = 0.16...0.20$) and high stress resistance ($Y_{\min} - Y_{\max} = -3.0...3.1$). They have been found preferable for breeding maize hybrids of extensive type for growing under less favorable conditions. The hybrid 'Istok S' ($Hom = 4$) was characterized by the best homeostasis.

Keywords: maize (*Zea mays* L.), parental forms, environmental adaptability, stability, homeostasis, stress resistance.

Введение. Кукуруза – одна из важнейших культур, без которых невозможно укрепление продовольственной базы страны. Необходимость импортозамещения ставит перед селекционной наукой задачи, ориентированные на использование при выращивании растениеводческой продукции семян отечественных гибридов. Для отечественного сельскохозяйственного производства актуальным является возделывание гибридов кукурузы с высоким адаптивным потенциалом (Грабовец и Бирюков, 2021). Для успешной селекции используются родительские формы, обладающие необходимой степенью устойчивости к неблагоприятным факторам среды с высокой урожайностью, скороспелостью, хорошей влагоотдачей, устойчивостью к ломкости стебля и поражению пузырчатой головней, технологичные в семеноводстве в зависимости от направления их использования. Подбор компонентов скрещивания направлен на эффективную реализацию генетического потенциала исходных родительских форм в условиях каждого региона (Сотченко и др., 2021). Повышение степени изученности исходного материала способствует возрастанию его ценности для селекционных программ (Daling et al., 2015; Zhao et al., 2019). Особое внимание следует уделять изучению параметров экологической стабильности сельскохозяйственных культур, это отмечают как зарубежные (Reckling, 2021; Fasahat, 2015), так и отечественные исследователи (Губин и др., 2020; Гудзенко, 2019; Юсова и др., 2020; Новохатин и др., 2022; Максимов, 2021).

Изучение материнских родительских форм позволяет провести оценку их адаптивности по экологической пластичности и стабильности, определить способность генотипов фор-

мировать высокий урожай зерна в различных почвенно-климатических условиях и классифицировать их отзывчивость на улучшение технологии возделывания. Пригодность родительских форм устанавливается на основе всестороннего их изучения в тех условиях, в которых планируется выращивать семена гибридов первого поколения.

Цель исследований – оценить параметры экологической пластичности и стабильности, используя пункты, контрастные по увлажнению, оценить продуктивный потенциал родительских форм – стерильных простых гибридов кукурузы для оптимизации их дальнейшего использования в селекционно-семеноводческом процессе.

Материалы и методы исследований. Изучение 10 родительских форм – стерильных простых гибридов кукурузы проведено в 2017–2019 гг. в 5 пунктах: ФГБНУ ВНИИ кукурузы (Предгорная зона Ставропольского края, богара), Поволжском филиале ВНИИОЗ (богара), ООО «Лидер» (Волгоградская область, орошение), Воронежском филиале ВНИИК (Воронежская область, богара) и «АНЦ «Донской» (Ростовская область, богара). Изучение проводили в питомнике экологического испытания. Оригинатор родительских форм – ВНИИ кукурузы.

Опыты были заложены на двухрядковых делянках с учетной площадью 7,84 м² в 3-кратной повторности в соответствии с Методическими рекомендациями. В каждом пункте в опытах применяли общепринятую для данной зоны технологию выращивания.

Метеорологические условия в пунктах проведения исследований значительно отличались по годам. В «АНЦ «Донской» метеоусловия 2017 г. в целом оказались средне благоприят-

ными для роста и развития растений кукурузы. За период вегетации кукурузы (с 1 мая по 1 сентября) выпало 226,1 мм атмосферных осадков, что составляет 112,8 % среднемноголетней нормы. Однако распределение их в течении вегетации было крайне неравномерным. В июле и августе среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетнюю на 1,4 °С, максимальная температура воздуха достигала 39,6 °С, отмечалась сильная воздушная засуха. Метеоусловия 2018 г. в целом оказались неблагоприятны для роста и развития растений кукурузы. За период вегетации кукурузы (с 1 мая по 1 сентября) выпало 93,4 мм атмосферных осадков, что составляет 46,6 % среднемноголетней нормы. В течение вегетации кукурузы среднемесячная температура воздуха превышала среднемноголетнюю на 2,5–4,1 °С. Метеоусловия 2019 г. также оказались неблагоприятны для роста и развития растений кукурузы. За период вегетации кукурузы (с 1 мая по 1 сентября) выпало 129,7 мм атмосферных осадков, что составляет 70,8 % среднемноголетней нормы, среднемесячная температура воздуха превышала среднемноголетнюю на 1,7–4,7 °С.

Во ВНИИ кукурузы в 2017 г. количество выпавших осадков в мае было 218 мм, что составило половину выпавших осадков за вегетационный период. С июня по сентябрь среднесуточная температура воздуха была близкой к средним многолетним значениям. В 2018 г. температурный фон в мае, июне и июле превышал среднее многолетнее значение на 3,3–3,7 °С, количество выпавших осадков было ниже среднемноголетних значений. Жаркие погодные условия 2018 г. и дефицит осадков в период цветения и налива зерна привели к увеличению бесплодия по всем изучаемым гибридам. Погодные условия за весь период вегетации 2019 г. сложились достаточно благоприятно для формирования урожая зерна кукурузы.

В условиях Поволжского филиала погодные условия 2017 г. характеризовались как незначительно засушливые. В течение вегетации кукурузы было достаточно осадков, чтобы обеспечить растениям оптимальный водный и температурный режим. В условиях 2018 г. 56 мм осадков, выпавших в период цветения и опыления початков, позволили получить средний урожай зерна. Погодные условия 2019 г. соответствовали умеренно засушливому характеру увлажнения. За весь период вегетации выпало 132 мм осадков, (многолетнее значение – 167,3 мм).

В ООО «Лидер» все годы изучения характеризовались как засушливые. В 2017 г. за период май–сентябрь выпало 35 мм осадков, в 2018 г.

осадки отсутствовали, в 2019 г. выпало всего 12 мм осадков. За период июль–август отмечались дневные температуры выше 40 °С и относительная влажность воздуха меньше 20 %. Применение орошения снимало стресс растений и позволило получить стабильные урожаи зерна по годам.

Вегетационный период в условиях Воронежского филиала ВНИИК в 2017 г. характеризовался пониженным температурным фоном, среднесуточная температура воздуха оказалась на 2,0 °С ниже нормы, количество осадков составило 86,7 % от среднемноголетнего значения с довольно равномерным распределением по месяцам. Погодные условия 2018 г. по температурному режиму в среднем были приближены к климатической норме, но уровень увлажнения не достиг среднемноголетних показателей, он составил 85 % от нормы с неравномерным распределением. Метеорологические условия 2019 г. оказались наиболее благоприятными, хотя уровни обеспеченности теплом и влагой были несколько ниже климатической нормы (96,9 и 75,1 % соответственно), но выпадавшие осадки в критические для культуры периоды (цветение, налив зерна) способствовали формированию высокого урожая.

В целом для роста и развития растений кукурузы самыми благоприятными следует считать метеоусловия, сложившиеся в Воронежском филиале ВНИИК. Наиболее сильному стрессу были подвержены растения кукурузы в «АНЦ «Донской» и Поволжском филиале ВНИИОЗ. Несмотря на засушливые условия в ООО «Лидер», благодаря орошению растения кукурузы не испытывали дефицита влаги. Средним по метеоусловиям оказался пункт испытания во ВНИИ кукурузы.

Оценку экологической пластичности и стабильности и расчет теоретической урожайности для определения коэффициента стабильности проводили по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в редакции В. А. Зыкина (2005), показатели гомеостатичности (Ном) и селекционной ценности (Sc) – по методике В. В. Хангильдина и Н. А. Литвиненко (1981); показатель стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) – по уравнениям А. А. Rosielle, J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко (2005). Двухфакторный дисперсионный анализ выполнен по методике Б. А. Доспехова (2014).

Результаты и их обсуждение. Урожайность зерна родительских форм – простых гибридов значительно варьировала по пунктам испытания, коэффициенты вариации составили 41,5–68,1 %, наибольшим варьированием отличались гибриды Алмаз М (68,1 %), Милена М (66,0 %) и Аврора С (65,6 %) (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность зерна (т/га) и экологическая пластичность родительских форм гибридов кукурузы, 2017–2019 гг.

Table 1. Grain productivity (t/ha) and environmental adaptability of parental forms of maize hybrids, 2017–2019

Фактор А (гибрид)	Фактор В (пункт испытания)					V, %	Σ Xi	Xi	bi
	ВНИИК	Воронежский филиал ВНИИК	Поволжский филиал ВНИИОЗ	ООО «Лидер»	«АНЦ «Донской»				
Альфа М	4,7	5,6	3,6	5,5	2,6	49,6	22,0	4,4	0,77
Алмаз М	5,3	8,1	5,4	8,0	2,6	68,1	29,4	5,9	1,34
Аврора С	3,9	6,6	4,1	6,6	2,4	65,6	23,6	4,7	1,37
Милена М	5,3	7,8	4,1	6,8	2,8	66,0	26,8	5,4	1,20
Исток С	4,7	6,0	4,6	6,3	3,2	41,5	24,8	5,0	0,76
Мирт М	5,7	8,7	5,5	7,6	3,6	58,6	31,1	6,2	1,20
Мальвина С	5,6	8,3	4,3	7,9	3,6	56,2	29,7	5,9	1,26
Радуга С	5,1	7,8	4,9	7,3	3,9	49,1	29,0	5,8	1,03
Престиж М	6,4	9,5	5,0	8,3	4,0	58,7	33,2	6,3	1,34
Мая М	6,2	9,1	5,2	7,2	4,1	55,9	31,8	6,4	1,15
Σxj	52,9	77,5	46,7	71,5	32,8	–	281,4	5,6	–
Xj	5,3	7,8	4,7	7,2	3,3	–	–	–	–
Ij	–0,3	+2,2	–0,9	+1,6	–2,3	–	–	–	–

В наиболее благоприятных пунктах испытания – Воронежском филиале ВНИИК и ООО «Лидер» средняя урожайность зерна соответственно составила 7,8 и 7,2 т/га, наименее благоприятном («АНЦ «Донской») она оказалась самой низкой – 3,3 т/га, промежуточные значения средней урожайности отмечены во ВНИИ кукурузы (5,3 т/га), Поволжском филиале ВНИИОЗ (4,7 т/га). Наиболее высокой потенциальной урожайностью зерна отличались родительские формы Престиж М (9,5 т/га) и Мая М (9,6 т/га) (Воронежский филиал ВНИИ кукурузы).

Для корректного расчета экологической пластичности и стабильности установлено наличие взаимодействия «генотип – среда» для всех изучаемых гибридов. Влияние на изменчивость урожайности фактора А (гибрид) наиболее значительно (81,5 %), фактора В (пункты испытания) – 7,3 %, взаимодействие между факторами А × В – 11,2 %.

Экологическую пластичность гибридов кукурузы следует рассматривать как отклик генотипа на улучшение условий выращивания. В основу расчета пластичности положено предположение о корректности линейной регрессии в отношении характера отклика генотипа на экологические условия. То есть коэффициент линейной регрессии (bi) служит мерой степени реакции генотипа на изменение условий среды. Коэффициент регрессии дает оценку пластичности в генетическом смысле.

Для определения коэффициента линейной регрессии (bi) необходимо определить индексы среды (Ij). Индексы условий среды могут принимать положительные и отрицательные значения. Лучшие условия для формирования урожайности зерна складываются

при положительном значении индекса среды, худшие – при отрицательном. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений кукурузы сложились в пунктах испытания – Воронежский филиал ВНИИК (Ij = +2,2) и ООО «Лидер» (Ij = +1,6), худшие – в «АНЦ «Донской» (Ij = –2,3).

Коэффициент линейной регрессии урожайности гибридов, показывающий реакцию на изменение условий выращивания, может принимать значения больше или меньше 1, а также быть равным 1. Чем выше значение коэффициента bi > 1, тем большей отзывчивостью обладает генотип. Высокой экологической пластичностью характеризовались родительские формы Алмаз М (bi = 1,34), Аврора С (bi = 1,37), Милена М (bi = 1,20), Мирт М (bi = 1,20), Мальвина С (bi = 1,26), Престиж М (bi = 1,34), Мая М (bi = 1,15). Они требовательны к высокому уровню агротехники, условиям выращивания, только при этом будет получен максимум отдачи. Их предпочтительно использовать для создания гибридов кукурузы интенсивного типа. Наименее отзывчивыми на условия выращивания оказались родительские формы Альфа М (bi = 0,77) Исток С (bi = 0,76). Такие генотипы предпочтительнее использовать для получения гибридов, выращиваемых на экстенсивном фоне.

При условии bi = 1 или значении, близком к единице, имеет место полное соответствие изменения урожайности генотипа изменению условий выращивания, к таковым относится родительская форма Радуга М.

Реакция родительских форм на условия внешней среды наглядно может быть представлена линиями регрессии (см. рисунок).

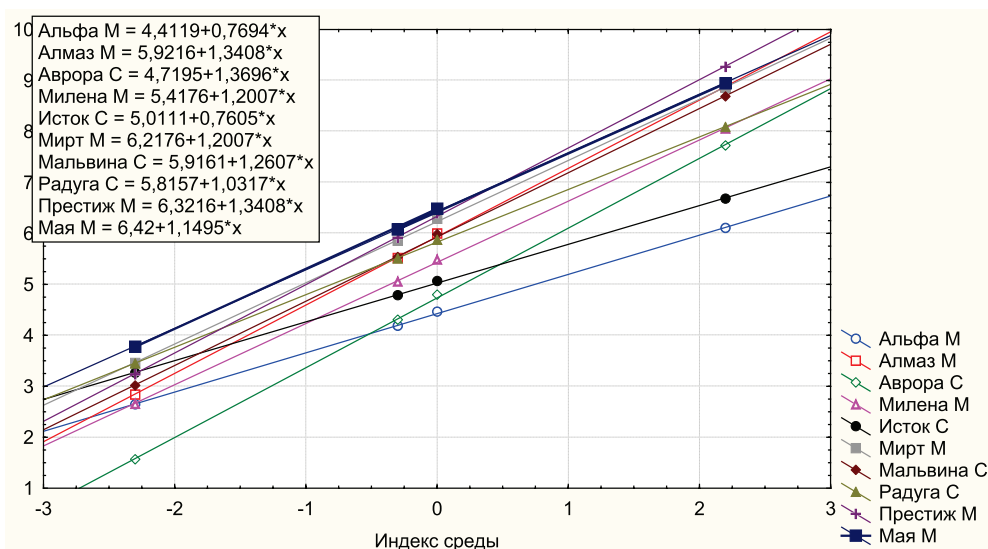


График линий регрессии урожайности родительских форм гибридов кукурузы
 Plot of regression lines for productivity of parental forms of maize hybrids

Гибриды Альфа М и Исток С имеют более пологие линии регрессии. Они отличаются меньшей изменчивостью урожайности зерна на изменение условий выращивания. Родительская форма Радуга С с коэффициентом регрессии, близким к единице ($b_i = 1,03$), имела средний наклон линии регрессии. Остальные родительские формы характеризовались более крутыми линиями регрессии, причем наибольший наклон линии регрессии имела родительская форма Аврора С с максимальным коэффициентом ($b_i = 1,37$) и, следовательно, с наиболее сильной реакцией на условия внешней среды.

Показателем экологической стабильности генотипа является среднеквадратическое отклонение $\sigma^2d = \Sigma \sigma^2ij / (n-2)$, где $\Sigma \sigma^2ij$ – сумма квадратов отклонений фактической урожайности от расчетной (теоретической), n – количество

пунктов испытания. Чем σ^2d ближе к нулю, тем выше стабильность генотипа, изменчивость продуктивности гибридов в этом случае вызвана только влиянием условий внешней среды, а не их генетическими особенностями.

Лучшими показателями экологической стабильности характеризовались гибриды Альфа М ($\sigma^2d = 0,17$), Исток С ($\sigma^2d = 0,20$), Мирт М ($\sigma^2d = 0,16$), Милена С ($\sigma^2d = 0,26$), Мальвина С ($\sigma^2d = 0,26$). Примечательно, что среди них Мальвина М и Мирт М характеризовались и высокой экологической пластичностью, а Аврора М и Исток С – низкой (табл. 2). Худшими показателями экологической стабильности отличались родительские формы Аврора С ($\sigma^2d = 0,87$) и Радуга С ($\sigma^2d = 0,85$), имея при этом высокие значения пластичности.

Таблица 2. Отклонение теоретической урожайности от фактической и экологическая стабильность родительских форм гибридов кукурузы, 2017–2019 гг.
 Table 2. Deviation of theoretical productivity from actual and environmental stability of parental forms of maize hybrids, 2017–2019

Фактор А (гибрид)	Фактор В (пункт испытания)					$\Sigma \sigma^2ij$	σ^2d
	ВНИИК	Воронежский филиал ВНИИК	Поволжский филиал ВНИИОЗ	ООО «Лидер»	«АНЦ «Донской»		
Альфа М	0,5	-0,5	-0,1	-0,1	0,0	0,52	0,17
Алмаз М	-0,2	-0,7	0,7	0,0	-0,2	1,06	0,35
Аврора С	-0,4	-1,1	0,6	-0,3	0,9	2,61	0,87
Милена М	0,3	-0,2	-0,2	-0,5	0,2	0,79	0,26
Исток С	-0,1	-0,7	0,3	0,1	-0,1	0,61	0,20
Мирт М	-0,1	-0,1	0,4	-0,5	0,2	0,47	0,16
Мальвина С	0,1	-0,4	-0,5	0,0	0,6	0,78	0,26
Радуга С	-0,3	-0,9	0,3	-0,6	1,1	2,56	0,85
Престиж М	0,5	0,3	-0,1	-0,1	0,8	1,00	0,33
Мая М	0,1	0,2	-0,2	-1,0	0,3	1,15	0,38

Наряду с показателями экологической пластичности и стабильности для целенаправленного использования исходного материала в селекционном процессе могут быть полезны и другие параметры, характеризующие адаптивность генотипов. В частности, пока-

затель гомеостатичности, характеризующий устойчивость изучаемого генотипа к изменяющимся условиям среды. Наиболее высоким значением ($Hom = 4$) этот показатель отмечался у гибрида Исток С (табл. 3).

Таблица 3. Параметры адаптивности гибридов кукурузы, 2017–2019 гг.
Table 3. Adaptability parameters of maize hybrids, 2017–2019

Гибрид	Hom	Sc	$(Y_{\min} - Y_{\max})$	$(Y_{\max} + Y_{\min})/2$
Альфа М	3	2,0	–3,0	4,1
Алмаз М	2	1,9	–5,5	5,4
Аврора С	2	1,7	–4,2	4,5
Милена М	2	1,9	–5,0	5,3
Исток С	4	2,5	–3,1	4,8
Мирт М	2	2,6	–5,1	6,2
Мальвина С	2	2,6	–4,7	6,0
Радуга С	3	5,0	–0,8	5,0
Престиж М	3	3,3	–3,9	5,9
Мая М	2	2,7	–5,5	6,8

Самым высоким значением показателя селекционной ценности обладал гибрид Радуга С ($Sc = 5,0$). Этот же гибрид отличался лучшей стрессоустойчивостью ($-0,8$), которая выражается в числовой разнице между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min} - Y_{\max}$). Неплохие показатели стрессоустойчивости имели гибриды Альфа М ($-3,0$) и Исток С ($-3,1$). Чем меньше разница в урожае зерна, полученного в контрастных по благоприятности пунктах испытания, тем выше стрессоустойчивость и тем шире ареал возможного использования гибрида.

Показатель гибкости изучаемых генотипов представляет среднюю урожайность зерна $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$ в различающихся (контрастных) условиях выращивания. Наиболее высокой гибкостью характеризовались гибриды Мирт М ($6,2$) и Престиж М ($6,8$).

Выводы. Пункты экологического испытания оказались контрастными по метеоусловиям. Наибольшая урожайность зерна кукурузы была получена в самых благоприятных усло-

виях (Воронежский филиал ВНИИК), наименьшая – в засушливых условиях «АНЦ «Донской». Изучение экологической пластичности и стабильности позволило установить, что большинство представленных родительских форм (Алмаз М, Аврора С, Милена М, Мирт М, Мальвина С, Радуга С, Престиж М, Мая М), созданных во ВНИИ кукурузы, характеризовались высокой экологической пластичностью ($bi = 1,03 - 1,37$). Их предпочтительно использовать для создания гибридов кукурузы интенсивного типа для благоприятных условий возделывания. Слабой экологической пластичностью отличались родительские формы Альфа М ($bi = 0,77$) и Исток С ($bi = 0,76$), которые рекомендуются использовать для создания гибридов экстенсивного типа, то есть для менее благоприятных условий выращивания. Эти же родительские формы имели более высокие значения экологической стабильности ($\sigma^2d = 0,17 - 0,20$) и стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max} = -3,0 \dots -3,1$). Гибрид Исток С характеризовался наибольшим показателем гомеостатичности ($Hom = 4$).

Библиографические ссылки

1. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.
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. Губин С.В., Логинова А.М., Гетц Г.В. Экологическая адаптивность новых гибридов кукурузы с участием линий омской селекции // АПК России. 2020. Т. 27, № 3. С. 421–426.
4. 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. DOI 10.18699/VJ19.469.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с.
6. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа: БашГАУ, 2005. 100 с.
7. Максимов Р.А. Метод определения параметров адаптивной способности с использованием множественного регрессионного анализа взаимосвязи урожайности и ее элементов структуры // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35, № 6. С. 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601.
8. Новохатин В.В., Шеломенцева Т.В., Драгавцев В.А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности и гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной истории селекции в Северном Зауралье) // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81rus
9. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Ветошкина И.А., Орлянская Н.А. Характеристика элитных линий кукурузы по основным хозяйственно ценным признакам // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 2. С. 60–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-2-100-60-67.
10. Юсова О.А., Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2. С. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105.
11. Daling M., Ruizhi X., Fenglu Z., Jian L., Shuanming L., Haili L., Yuee L., Yinqiao G., Shaokun L. Genetic contribution to maize yield gain among different locations in China // Maydica. 2015. Vol. 60(1), P. 11–18.

12. Fasahat P., Rajabi A., Mahmoudi S.B., Noghabi M.A., Rad J.M. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. // *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2015. Vol. 2(5), P. 149–159. DOI: 10.15406/bbij.2015.02.00043.
13. Reckling M., Ahrends H., Chen T-W. Eugster W., Hadasch S., Knapp S., Laidig F., Linstädter A., Macholdt J., Piepho H-P., Schiffrers K., Döring T.F. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. March // *Agronomy for Sustainable Development*. 2021. Vol. 41, Article number 27. DOI: 10.1007/s13593-021-00681-4.
14. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // *Genes*. 2019. Vol. 10(6), Article number 445. DOI: 10.3390/genes10060445.

References

1. Goncharenko A.A. Ob adaptivnosti i ekologicheskoi ustoichivosti sortov zernovykh kul'tur [On the adaptability and environmental sustainability of grain crop varieties] // *Vestnik RASKhN*. 2005. № 6. S. 49–53.
2. Grabovets A.I., Biryukov K.N. Rol' sorta v stabilizatsii proizvodstva zerna v shirokom diapazone agroklimaticheskikh faktorov [The role of the variety in the stabilization of grain production in a wide range of agro-climatic factors] // *Zemledelie*. 2021. № 5. S. 41–45. DOI: 10.24412/0044-3913-2021-5-41-45.
3. Gubin S.V., Loginova A.M., Getts G.V. Ekologicheskaya adaptivnost' novykh gibridov kukuruzy s uchastiem linii omskoi selektsii [Environmental adaptability of new maize hybrids with participation of Omsk breeding lines] // *APK Rossii*. 2020. T. 27, № 3. S. 421–426.
4. Gudzenko V.N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) otsenka adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti selektsionnykh linii 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. DOI: 10.18699/VJ19.469.
5. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
6. Zykin V.A., Belan I.A., Yusov V.S. Metodika rascheta i otsenki parametrov ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii [Methodology for calculating and estimating parameters of ecological plasticity of agricultural plants]. Ufa: BashGAU, 2005. 100 s.
7. Maksimov R.A. Metod opredeleniya parametrov adaptivnoi sposobnosti s ispol'zovaniem mnozhestvennogo regressionnogo analiza vzaimosvyazi urozhainosti i ee elementov struktury [Method for determining the parameters of adaptive capacity using multiple regression analysis of the correlation between productivity and its structural elements] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2021. T. 35, № 6. S. 4–10. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10601.
8. Novokhatin V.V., Shelomentseva T.V., Dragavtsev V.A. Novyi kompleksnyi podkhod k izucheniyu dinamiki povysheniya adaptivnosti i gomeostatichnosti u sortov myagkoi yarovoi pshe-nitsy (na primere dlitel'noi istorii selektsii v Severnom Zaural'e) [A new integrated approach to the study of the dynamics of increasing adaptability and homeostasis in the spring bread wheat varieties (on the example of a long breeding history in the Northern Trans-Urals)] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2022. T. 57, № 1. S. 81–97. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.81rus
9. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Vetoshkina I.A., Orlyanskaya N.A. Kharakteristika elitnykh linii kukuruzy po osnovnym khozyaistvenno tsennym priznakam [Characteristics of basic maize lines according to the main economically valuable traits] // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2021. № 2. S. 60–67. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-2-100-60-67.
10. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Adaptivnost' sortov yachmenya po priznaku «massa 1000 zeren» v usloviyakh lesostepi Omskoi oblasti [Adaptability of barley varieties according to 1000-grain weight in the conditions of the forest-steppe of the Omsk region] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. T. 34, № 2. S. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10105.
11. Daling M., Ruizhi X., Fenglu Z., Jian L., Shuanming L., Haili L., Yuee L., Yinqiao G., Shaokun L. Genetic contribution to maize yield gain among different locations in China // *Maydica*. 2015. Vol. 60(1). P. 11–18.
12. Fasahat P., Rajabi A., Mahmoudi S.B., Noghabi M.A., Rad J.M. An overview on the use of stability parameters in plant breeding. // *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2015. Vol. 2(5). P. 149–159. DOI: 10.15406/bbij.2015.02.00043.
13. Reckling M., Ahrends H., Chen T-W. Eugster W., Hadasch S., Knapp S., Laidig F., Linstädter A., Macholdt J., Piepho H-P., Schiffrers K., Döring T.F. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. March // *Agronomy for Sustainable Development*. 2021. Vol. 41, Article number 27. DOI: 10.1007/s13593-021-00681-4.
14. Zhao X., Wei J., He L., Zhang Y., Zhao Y., Xu X., Wei Y., Ge S., Ding D., Liu M., Gao S., Xu J. Identification of fatty acid desaturases in maize and their differential responses to low and high temperature // *Genes*. 2019. Vol. 10(6), Article number 445. DOI: 10.3390/genes10060445.

Поступила: 08.02.23; доработана после рецензирования: 21.02.23; принята к публикации: 22.02.23.

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. Кривошеев Г.Я., Горбачева А.Г. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьев А.С., Ветошкина И.А., Орлянская Н.А., Панфилова О.Н. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных, интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.1:631.51(470.344)

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-89-93

**ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЯМОГО ПОСЕВА
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ**

А. И. Волков, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, alex-volkov@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-6385-1150;

Л. Н. Прохорова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, lubashka-1502@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4619-9196;

В. В. Селюнин, магистр, seluninviktor892@gmail.com
ФГБОУ ВО Марийский государственный университет,
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, ул. Машиностроителей, 15

Исследования проводили с целью изучения эффективности прямого посева зерновых культур после картофеля на среднесуглинистых серых лесных почвах с содержанием гумуса 2,33 %, подвижного фосфора – 210 мг/кг, обменного калия – 162 мг/кг и кислотностью 6,6 единицы. Объекты изучения – озимая и яровая пшеница, яровой ячмень на пивоваренные и фуражные цели, кукуруза на зерно и силос. Посевной комплекс Amazone Primera DMC осуществлял прямой сев протравленных семян с одновременным внесением минеральных удобрений. Обработка посевов зерновых культур для борьбы с сорной растительностью, вредителями и болезнями, а также подкормка макро- и микроудобрениями была направлена на получение максимальной продуктивности каждой культуры. Гидротермический коэффициент в 2020 вегетационном году составил 1,04; 2021-м – 0,60; 2022-м – 1,05. Уборка урожая осуществлялась в фазу полного созревания зерна и молочно-восковой спелости початков при закладке кукурузного силоса. В среднем наивысшая (3,85 т/га) урожайность зерна при использовании прямого посева была получена при возделывании кукурузы, а наименьшая (2,00 т/га) – пивоваренного ячменя. При производстве данных культур был также установлен максимальный (2,72) и минимальный (1,99) коэффициенты энергетической эффективности соответственно. Экономическая оценка показала целесообразность прямого посева озимой пшеницы, где был установлен максимальный (68,4 %) уровень рентабельности. Минимальный (14,8 %) уровень рентабельности был выявлен при возделывании пивоваренного ячменя, что объясняется высокой степенью материальных и трудовых затрат и низкой урожайностью. Рентабельность производства других культур была ниже в 1,21–3,39 раза. В целом, агроэкономический и энергетический анализы свидетельствовали о высокой эффективности прямого посева при возделывании озимой пшеницы и кукурузы после картофеля в агроклиматических условиях Чувашской Республики.

Ключевые слова: прямой посев, зерновые культуры, урожайность, энергетическая эффективность, рентабельность.

Для цитирования: Волков А. И., Прохорова Л. Н., Селюнин В. В. Изучение эффективности прямого посева зерновых культур в Чувашской Республике // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 89–93. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-89-93.

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF DIRECT (NO-TILL) SOWING
OF GRAIN CROPS IN THE REPUBLIC OF CHUVASHIA**

A. I. Volkov, Candidate of Agricultural Sciences, docent, associate professor of the department of agroengineering and technologies of production and processing of agricultural products, alex-volkov@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-6385-1150;

L. N. Prokhorova, Candidate of Agricultural Sciences, associate professor of the department of agroengineering and technologies of production and processing of agricultural products, lubashka-1502@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4619-9196;

V. V. Selyunin, Master's degree student, seluninviktor892@gmail.com
FSBEI HE Mari state university,
424000, Republic of Mari El, Yoshkar-Ola, Mashinostroiteley Str., 15

The current study was carried out in order to identify the efficiency of direct (no-till) sowing of grain crops after potatoes on medium loamy gray forest soils with 2.33 % of humus, 210 mg/kg of mobile phosphorus, 162 mg/kg of exchangeable potassium and 6.6 units of acidity. The objects of study were winter and spring wheat, spring barley for brewing and fodder, maize for grain and silage. The sowing complex 'Amazone Primera DMC' has carried out direct (no-till) sowing of disease-treated seeds with the simultaneous application of mineral fertilizers. Grain crop treatment to control weeds, pests, and diseases, as well as top dressing with macro- and micro-fertilizers were aimed at obtaining the maximum productivity of each grain crop. The hydrothermal coefficient in the 2020 growing year was 1.04, in 2021 it was 0.60 and in 2022 it was 1.05. Harvesting was carried out in the phase of full ripening of grain and milky-wax ripeness of cobs when laying maize silage. On average, the largest (3.85 t/ha) grain productivity when using direct (no-till) sowing was produced by maize, and the least yields (2.00 t/ha) were given by brewing barley. In the production of these crops, there have been identified maximum (2.72) and minimum (1.99) energy efficiency coefficients. An economic estimation has shown the feasibility of direct (no-till) sowing of winter wheat, where the maximum (68.4 %)

level of profitability was established. The minimum (14.8 %) level of profitability was found in the cultivation of brewing barley, which could be explained by the high degree of material and labor costs and low productivity. The profitability of the production of other crops was lower in 1.21-3.39 times. In general, agro-economic and energy analysis has proved a high efficiency of direct (no-till) sowing in the cultivation of winter wheat and maize after potatoes in the agro-climatic conditions of the Republic Chuvashia.

Keywords: direct (no-till) sowing, grain crops, productivity, energy efficiency, profitability.

Введение. Чувашская Республика располагается в зоне рискованного земледелия, тем не менее данный фактор не помешал аграриям собрать в 2022 г. рекордное количество зерна – 1005,3 тыс. т, побив рекорд региона по сбору урожая тридцатилетней давности. В то же время Чувашия принадлежит к числу главных картофелепроизводящих территорий в Нечерноземной зоне Российской Федерации (РФ). Она традиционно занимает лидирующие позиции среди регионов Приволжского федерального округа (ПФО) по валовому сбору картофеля. Объемы производства товарных клубней в два раза превышают потребности жителей республики, поэтому продукция активно реализуется по всей стране и за ее пределами. Благоприятная ценовая ситуация, сложившаяся в настоящее время для производителей картофеля, стимулирует дальнейшее расширение площадей под данной культурой в полевых севооборотах (Волков и др., 2022).

Традиционная технология возделывания картофеля в республике базируется на глубокой вспашке, нескольких междурядных обработках, использовании органических, минеральных, макро- и микроудобрений, широком применении средств защиты растений от сорняков, болезней и вредителей и механизированной уборке клубнеплодов. Поля после данной пропашной культуры остаются чистыми от сорной растительности и не требуют дополнительного рыхления почвы. Это подталкивает многих сельскохозяйственных товаропроизводителей, придерживающихся принципов бережливого земледелия и стремящихся сэкономить на затратах, к применению прямого посева зерновых культур после картофеля (Волков и Прохорова, 2019).

Прямой посев является ключевой агротехнической операцией при внедрении no-till («нулевой») технологии (Zikeli and Gruber, 2017; Skaalsveen et al, 2019; Поляков и Бакиров, 2020; Blanco-Canqui, 2021; Volkov et al., 2022). Все отечественные аграрии знают о ней, но несмотря на это, всего лишь на 5 % сельскохозяйственных земель нашей страны применяется данная инновационная технология. Чаще всего это происходит в засушливых регионах с целью максимального сохранения почвенной влаги (Вольтерс и др., 2020; Женченко и др., 2020). На Северо-Востоке Нечерноземной зоны РФ прямой посев способствует восстановлению плодородия почв, защищая их от водной и ветровой эрозии, поэтому с каждым годом его применение становится все более актуальным (Volkov et al, 2021).

Цель работы – изучить эффективность «прямого» посева зерновых культур после картофе-

ля в умеренно теплой Центральной агроклиматической зоне Чувашской Республики.

Материалы и методы исследований. Полевые опыты проводили в 2020–2022 гг. на среднесуглинистых серых лесных почвах с содержанием гумуса 2,33 %, подвижного фосфора – 210 мг/кг, обменного калия – 162 мг/кг и кислотностью (рНКCl) 6,6 единицы. Объектами изучения явились озимая (сорт Московская 39) и яровая пшеница (Архат), яровая ячмень на пивоваренные (Эльф) и фуражные (Памяти Родины) цели, кукуруза (гибрид НК Гитаго) на зерно и силос. Площадь опытных делянок составляла 240 м², учетных – 60 м². Размещение делянок было систематическим, повторность – 3-кратной.

Погодные условия в годы проведения опытов различались как по теплообеспеченности, так и по количеству осадков. Гидротермический коэффициент в 2020 вегетационном году составил 1,04; 2021-м – 0,60; 2022-м – 1,05. Это позволило наиболее объективно проанализировать изучаемые зерновые культуры.

Посевной комплекс Amazone Primera DMC осуществлял прямой сев протравленных семян с одновременным внесением минеральных удобрений (N₆₀P₄₅K₄₅). Обработка посевов зерновых культур для борьбы с сорной растительностью, вредителями и болезнями, а также подкормка макро- и микроудобрениями была направлена на получение максимальной продуктивности каждой культуры. Уборка урожая осуществлялась в фазу полного созревания зерна и молочно-восковой спелости початков при закладке кукурузного силоса.

Полевые опыты и статистическую обработку полученных результатов исследований проводили по методике Б. А. Доспехова (2014). Энергетическую эффективность определяли по методике Г. И. Рабочева (2004). Уровень рентабельности рассчитывали исходя из экономических показателей в каждом текущем году.

Результаты и их обсуждение. «Прямой» посев озимой пшеницы в начале сентября позволял через две недели получить на опытных делянках дружные всходы растений. Вегетация их длилась до третьей декады октября. За это время культурные растения перешли в начальную фазу кущения. Благоприятные агрометеорологические условия способствовали хорошей перезимовке посевов озимой пшеницы.

Отличительной чертой климатических условий Чувашской Республики является весеннее достижение почвой полной полевой влагоемкости. Незначительное количество пожнивно-корневых остатков картофеля на поверхности поля не мешало быстрому прогреванию верхнего почвенного слоя солнечными лучами и позволяло провести качественный

прямой посев ячменя, яровой пшеницы и кукурузы в первой половине мая до массового появления сорных растений. Свидетельством тому явились дружные всходы и положительная динамика ростовых процессов всех изучаемых зерновых культур.

Наибольшая продуктивность в наших опытах была выявлена в 2022 г., вегетационный период которого характеризовался сбалансированными агрометеорологическими условиями – достаточной теплообеспеченностью и необходимым количеством выпавших осад-

ков. Недостаток влаги на протяжении трех недель в фазу колошения, цветения, налива зерна и формирования зеленой массы кукурузы привел к значительному недобору урожая в 2021 г. (табл. 1). Следовательно, даже при прямом посеве решающее значение на формирование урожая оказывают погодные условия.

В среднем за три года наивысший (3,85 т/га) урожай зерна при прямом посеве был получен при возделывании кукурузы, а наименьший (2,00 т/га) – пивоваренного ячменя.

Таблица 1. Урожайность исследуемых культур, т/га
Table 1. Productivity of the studied crops, t/ha

Наименование культуры	Годы			Среднее за три года
	2020	2021	2022	
Ячмень пивоваренный	2,29	1,11	2,60	2,00
Ячмень фуражный	2,68	1,27	3,03	2,33
Яровая пшеница	3,35	1,48	3,56	2,80
Озимая пшеница	3,96	2,12	4,18	3,42
Кукуруза на зерно	4,44	2,00	5,12	3,85
Кукуруза на силос	48,82	29,19	56,21	44,74
НСР ₀₅ (для зерна)	0,49	0,35	0,58	0,47

Коэффициент энергетической эффективности представляет собой соотношение биологической энергии урожая к затратам антропогенной энергии, которая складывается из энергии потраченных на производство растениеводческой продукции минеральных удобрений и средств защиты растений, энергии расходуе-

мых топливно-смазочных материалов и прочих энергозатрат антропогенного характера.

Максимальный (2,72) коэффициент энергетической эффективности был получен при возделывании кукурузы на зерно, а минимальный (1,99) – при возделывании пивоваренного ячменя (рис. 1).

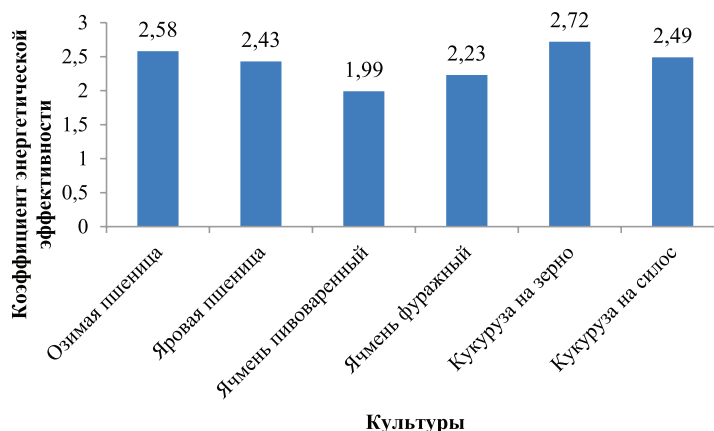


Рис. 1. Коэффициент энергетической эффективности возделывания исследуемых культур
Fig. 1. Energy efficiency coefficient of cultivation of the studied crops

Это объясняется не только его низкой урожайностью, но и невысоким содержанием энергии в зерне пивоваренного ячменя (12,89 МДж/кг) в отличие от зерна фуражного ячменя (13,01 МДж/кг), яровой (13,18 МДж/кг) и озимой пшеницы (13,31 МДж/кг), кукурузы (14,14 МДж/кг) (Рабочев и др. 2004).

На рентабельность производства растениеводческой продукции важнейшее влияние оказывают ее себестоимость и цена реализации. Себестоимость зерна складывается главным

образом из материальных затрат на производство основной продукции и его послеуборочную обработку, чтобы довести зерно до стандартной влажности 14 %. Если для пшеницы и ячменя данная статья затрат не столь актуальна, то для кукурузы затраты на ее подработку занимают 30–40 % от общей себестоимости произведенного зерна. Объясняется это высокой влажностью кукурузного зерна. К моменту уборки она составляет 28–30 %, а в неблагоприятные по погодным условиям годы достигает

35 %. В благоприятные годы зерно пшеницы и ячменя не требует сушки, достаточно лишь очистить его от разного рода примесей.

Себестоимость кукурузного силоса также включает затраты на возделывание, скашивание растений и непосредственно закладку зеленой массы в траншеи.

По экономическим показателям из всех изучаемых культур прямой посев наилучшим образом подходит для возделывания

озимой пшеницы, где был выявлен максимальный (68,4 %) уровень рентабельности (табл. 2). Минимальный (14,8 %) уровень рентабельности был получен при возделывании пивоваренного ячменя, что объясняется высокой степенью материальных и трудовых затрат и относительно низкой урожайностью. Рентабельность производства прочих видов растениеводческой продукции была ниже в 1,21–3,39 раза.

Таблица 2. Рентабельность возделывания исследуемых культур, в среднем за 3 года
Table 2. Profitability of cultivation of the studied crops, average for 3 years

Культура	Себестоимость 1 т продукции, руб.	Цена реализации 1 т продукции, руб.	Прибыль, руб./т	Уровень рентабельности, %
Ячмень пивоваренный	10660	12240	1580	14,8
Ячмень фуражный	8155	9800	1645	20,2
Кукуруза на силос	1790	2450	660	36,8
Яровая пшеница	7615	10500	2885	37,9
Кукуруза на зерно	11880	18600	6720	56,6
Озимая пшеница	6235	10500	4265	68,4

Благодаря высокой цене реализации, стабильной урожайности и, как следствие, получению максимальной доходности продукции (6720 руб./т) кукуруза, возделываемая на зерно, в последнее время активно возвращается в полевые севообороты, вытесняя из нее низкорентабельные культуры. Повышенный спрос на кукурузное зерно объясняется ее значительной концентрацией в современных комбикормах. А с ростом поголовья сельскохозяйственных животных и птицы увеличиваются и объемы его потребления.

Если еще 10 лет назад возделывание кукурузы в северных регионах Российской Федерации выглядело весьма проблематично, то внедрение в производство гибридов отечественной и зарубежной селекции с низким коэффициентом потребления фотосинтетически активной радиации вкупе с инновационными регуляторами роста и развития растений, макро- и микроудобрениями и средствами химической защиты растений в настоящее время позволяют активно ее возделывать по no-till технологии.

Возделывание озимой пшеницы в условиях умеренно-континентального климата позволяет сельскохозяйственным предприятиям равномерно распределить объем осенних и весенних полевых работ, а в случае удачной перезимовки, что в последние годы встречается все чаще, надеяться на получение максимального урожая зерна даже в засушливые годы, активно используя весеннюю влагу в критические фазы роста растений.

Выводы. Максимальная (3,85 т/га) средняя урожайность зерна при прямом посеве получена при возделывании кукурузы, а минимальная (2,00 т/га) – при возделывании пивоваренного ячменя.

В среднем наибольший (2,72) коэффициент энергетической эффективности был выявлен при возделывании кукурузы на зерно, а наименьший (1,99) – при возделывании пивоваренного ячменя.

Наивысший (68,4 %) средний уровень рентабельности получен при возделывании озимой пшеницы, а минимальный (14,8 %) – при возделывании пивоваренного ячменя. Однако максимальная (6720 руб.) средняя прибыль с 1 т продукции установлена при возделывании кукурузы на зерно, а минимальная (660 руб.) – при производстве кукурузного силоса.

Таким образом, агроэнергетическая и экономическая оценки свидетельствуют об агро-технической целесообразности внедрения прямого посева при возделывании зерновых культур после картофеля в агроклиматических условиях Чувашской Республики.

Авторы рекомендуют прямой посев озимой пшеницы и кукурузы для повышения рентабельности производства растениеводческой продукции по сравнению с другими зерновыми культурами на Северо-Востоке Нечерноземной зоны Российской Федерации.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-016-00078.

Библиографические ссылки

1. Волков А. И., Прохорова Л. Н. Анализ технологий возделывания полевых культур в условиях Чувашии // Аграрная Россия. 2019. № 2. С. 3–7. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-2-3-7.
2. Волков А. И., Прохорова Л. Н., Богданов К. В. Прямой посев после сахарной свеклы // Сахарная свекла. 2022. № 3. С. 31–33. DOI: 10.25802/SB.2022.87.68.003.
3. Вольтерс И. А., Власова О. И., Передериева В. М., Дрепа Е. Б. Эффективность применения технологии прямого посева при возделывании полевых культур в засушливой зоне Центрального Предкавказья // Земледелие. 2020. № 3. С. 14–18. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10303.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.

5. Женченко К. Г., Турин Е. Н., Гонгало А. А. Результаты изучения системы земледелия прямого посева (no-till) при выращивании озимой пшеницы в Центральной степи Крыма // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(71). С. 45–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-45-52.
6. Поляков Д. Г., Бакиров Ф. Г. Органическая мульча и No-till в земледелии: обзор зарубежного опыта // Земледелие. 2020. № 1. С. 3–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101.
7. Рабочев Г. И., Кутилкин В. Г., Рабочев А. Л. Биоэнергетическая оценка технологических процессов в растениеводстве. Самара, 2004. 112 с.
8. Blanco-Canqui H. No-till technology has limited potential to store carbon: How can we enhance such potential? // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2021. Vol. 313, Article number 107352. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107352>.
9. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L. E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review // Soil Tillage Research. 2019. Vol. 189. P. 98–109.
10. Volkov A. I., Prohorova L. N., Stepanov A. S. Impact of no-till technology on the fertility of degraded and low-humus soils // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1112, Article number 012039. DOI:10.1088/1755-1315/1112/1/012039.
11. Volkov A. I., Prohorova L. N., Shabalin R. A. The prospects for no-till in the cultivation of corn for grain // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, Article number 052011. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052011.
12. Zikeli S., Gruber S. Reduced Tillage and No-Till in Organic Farming Systems, Germany-Status Quo, Potentials and Challenges // Agriculture. 2017. Vol. 7(4), Article number 35. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040035>.

References

1. Volkov A. I., Prokhorova L. N. Analiz tekhnologii vozdeleyvaniya polevykh kul'tur v usloviyakh Chuvashii [Analysis of cultivation technologies of field crops in the conditions of the Republic of Chuvashia] // Agramaya Rossiya. 2019. № 2. S. 3–7. DOI: 10.30906/1999-5636-2019-2-3-7.
2. Volkov A. I., Prokhorova L. N., Bogdanov K. V. Pryamoi posev posle sakharnoi svekly [Direct sowing after sugar beet] // Sakharaya svekla. 2022. № 3. S. 31–33. DOI: 10.25802/SB.2022.87.68.003.
3. Vol'ters I. A., Vlasova O. I., Perederieva V. M., Drepa E. B. Effektivnost' primeneniya tekhnologii pryamogo poseva pri vozdeleyvanii polevykh kul'tur v zasushlivoi zone Tsentral'nogo Predkavkaz'ya [Efficiency of using direct sowing technology when cultivating field crops in the arid zone of the Central Fore-Caucasus] // Zemledelie. 2020. № 3. S. 14–18. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10303.
4. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
5. Zhenchenko K. G., Turin E. N., Gongalo A. A. Rezul'taty izucheniya sistemy zemledeliya pryamogo poseva (no-till) pri vyrashchivanii ozimoi pshenitsy v Tsentral'noi stepi Kryma [Study results of the farming system of direct sowing (no-till) when growing winter wheat in the Central steppe of the Crimea] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 5(71). S. 45–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-45-52.
6. Polyakov D. G., Bakirov F. G. Organicheskaya mul'cha i No-till v zemledelii: obzor zarubezhnogo opyta [Organic mulch and no-till in agriculture: a review of foreign experience] // Zemledelie. 2020. № 1. S. 3–7. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101.
7. Rabochev G. I., Kutilkin V. G., Rabochev A. L. Bioenergeticheskaya otsenka tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve [Bioenergy estimation of technological processes in crop production]. Samara, 2004. 112 s.
8. Blanco-Canqui H. No-till technology has limited potential to store carbon: How can we enhance such potential? // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2021. Vol. 313, Article number 107352. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107352>.
9. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L. E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review // Soil Tillage Research. 2019. Vol. 189. P. 98–109.
10. Volkov A. I., Prohorova L. N., Stepanov A. S. Impact of no-till technology on the fertility of degraded and low-humus soils // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1112, Article number 012039. DOI:10.1088/1755-1315/1112/1/012039.
11. Volkov A. I., Prohorova L. N., Shabalin R. A. The prospects for no-till in the cultivation of corn for grain // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Article number 52011. DOI: 10.1088/1755-1315/677/5/052011.
12. Zikeli S., Gruber S. Reduced Tillage and No-Till in Organic Farming Systems, Germany-Status Quo, Potentials and Challenges // Agriculture. 2017. Vol. 7(4), Article number 35. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040035>.

Поступила: 23.11.22; доработана после рецензирования: 30.01.23; принята к публикации: 01.02.23.

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. Волков А. И. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Прохорова Л. Н. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных, подготовка рукописи; Селюнин В. В. – выполнение полевых опытов, сбор и анализ данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 632.08:633.1

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-94-98

ПРИМЕНЕНИЕ СПОРОУЛАВЛИВАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР (ОБЗОР)

О. Ю. Кремнева, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией фитосанитарного мониторинга агроэкосистем, kremenoks@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0982-6821;

К. Э. Гасиян, младший научный сотрудник, аспирант, gasiyankk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2192-3261

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), 350039, Краснодарский край, г. Краснодар, п/о 39

Для того чтобы управлять фитосанитарной ситуацией в посевах сельскохозяйственных культур и получать максимальное количество качественного урожая, в первую очередь необходимо оценить состояние защищаемой культуры. На основании этой оценки впоследствии возможно построение наиболее эффективной и экономически оправданной системы защиты. Зерновые – важнейшие стратегические культуры, обеспечивающие продовольственную безопасность во всем мире. По данным ФАО в мире потери урожая от вредных организмов доходят до 40 %, и значительную роль среди вредных объектов составляют возбудители болезней грибной природы. Поэтому важнейшей задачей фитосанитарного мониторинга является своевременное обнаружение и идентификация болезни, причем до появления симптомов на самых ранних стадиях развития патогенов, что становится возможным при обнаружении инфекционного начала болезни. При мониторинге грибных болезней осуществить данную задачу позволяют спороулавливающие устройства. Цель данного обзора – описать имеющиеся устройства, которые можно использовать для мониторинга и раннего обнаружения возбудителей болезней сельскохозяйственных культур и выявить перспективные направления использования приборов на зерновых культурах для повышения эффективности защитных мероприятий. Во введении кратко описаны классические методы мониторинга и относительно новые методы, применяющиеся в настоящее время. В основной части рассмотрены спороулавливающие устройства, разработанные и применяющиеся как в зарубежной, так и в отечественной практике, способы применения спороулавливающей аппаратуры и приведены примеры использования этих устройств при мониторинге болезней зерновых культур. В выводах обобщены тенденции развития данного направления технического обеспечения фитосанитарного мониторинга и показаны направления, перспективные для дальнейших исследований.

Ключевые слова: фитосанитарный мониторинг, болезни зерновых культур, спороулавливатель, защита растений.

Для цитирования: Кремнева О. Ю., Гасиян К. Э. Применение спороулавливающей аппаратуры для обнаружения болезней зерновых культур (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 94–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-94-98.



THE USE OF SPORE-CATCHING EQUIPMENT DETECTING DISEASES OF GRAIN CROPS (REVIEW)

O. Yu. Kremneva, leading researcher, head of the laboratory for phytosanitary monitoring of agroecosystems, kremenoks@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0982-6821;

K. E. Gasiyan, junior researcher, postgraduate student, gasiyankk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-2192-3261

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center of Biological Plant Protection», 350039, Krasnodar Kray, Krasnodar, p/o 39

In order to manage the phytosanitary situation on the sowings and get the maximum yields of high quality, at first it is necessary to estimate the condition of the protected crop. Based on this estimation, in future it is possible to establish the most effective and economically justified protection system. Grain crops are the most important strategic crops that ensure food security around the world. According to the FAO the world crop losses caused by pests have reached up to 40 % where fungal pathogens have played the most significant role. Therefore, the most important task of phytosanitary monitoring is the timely detection and identification of the disease before the beginning of symptoms at the earliest stages of pathogen development, which becomes possible when the infectious beginning of the disease has been detected. When monitoring fungal diseases, spore-catching equipment allow this issue to be solved. The purpose of the current review was to describe the existing developments of spore-catching equipment for monitoring grain crop diseases and to identify promising areas for using devices on crops to improve protective measures' efficiency. The introduction has briefly described the classical methods of monitoring and the relatively new methods currently used. In the main part there has been considered a spore-catching equipment developed and used both in foreign and domestic practice. There have been analyzed the methods of using spore-catching equipment and given the examples of the use of these devices in monitoring crop diseases. In the conclusions there have been summarized

the trends in the development of technical support for phytosanitary monitoring and shown areas that have been found promising for further research.

Keywords: *phytosanitary monitoring, diseases of grain crops, spore-catching device, plant protection.*

Введение. Получение максимального количества качественного урожая во многом зависит от своевременного обнаружения болезней сельскохозяйственных культур. По данным ФАО в мире потери урожая от вредных организмов доходят до 40 %. Традиционно обнаружение болезней сельскохозяйственных культур осуществляется посредством визуальных методов, однако такой подход на больших площадях очень трудоемок и требует наличия глубоких знаний специалистов, проводящих обследования посевов (Nagasubramanian et al., 2019; Singh et al., 2020). В настоящее время, помимо визуальных осмотров, широко используются микробиологические, серологические, молекулярные методы выделения и идентификации патогенов, однако для их проведения требуется тщательная подготовка образца пораженной ткани. В связи с этим наиболее предпочтительными становятся неразрушающие методы диагностики, которые в последнее время приобретают большую популярность (Ali et al., 2019). К таким методам относят оптические методы в автоматизированных системах обнаружения болезней: визуализация RGB-изображений, мульти- и гиперспектральные датчики, термография, флуоресценция хлорофилла и др. (Mahlein, 2016). Активно ведутся работы по внедрению искусственного интеллекта в область диагностики и мониторинга болезней, а именно: разработка программ идентификации болезней на основе нейросетей, машинного зрения, применяются технологии с использованием ГИС-систем (Кремнева и др., 2020). Современные технические возможности позволяют сделать процесс идентификации возбудителей болезней более простым и быстрым. Однако важнейшей задачей фитосанитарного мониторинга является не просто обнаружение и идентификация болезни после ее проявления, а определение наличия болезни еще до появления симптомов на самых ранних стадиях развития патогенов, что становится возможным при обнаружении инфекционного начала болезни. При мониторинге грибных болезней осуществить данную задачу позволяют спороулавливающие устройства.

Аэриобиологические исследования актуальны не только в сельском хозяйстве, но и в медицине, так как с помощью спороулавливателей возможен мониторинг лета пылицы, вызывающей аллергические реакции людей, тем самым устройства могут обеспечить профилактику поллинозов.

Цель данного обзора – описать имеющиеся устройства, которые можно использовать для мониторинга и раннего обнаружения возбудителей болезней сельскохозяйственных культур и выявить перспективные направления использования приборов на зерновых культурах для повышения эффективности защитных мероприятий.

Спороулавливающая аппаратура в мировой практике. Среди существующих спороулавливающих устройств, применяемых для аэриобиологических исследований, можно выделить два типа: гравиметрические, в которых частицы оседают на горизонтальную поверхность под действием силы тяжести, и импакторные, в которых движение частиц осуществляется с потоком воздуха, после чего они сталкиваются с различными поверхностями. При этом импакторные ловушки разделяются на два вида: естественные, в которых движение частиц происходит под влиянием ветра, и волюметрические, где воздух принудительно прокачивают с заданной скоростью с помощью специальных помп. В мировой практике первой широко используемой ловушкой для спор грибов и пылицы стала ловушка Херста, состоящая из электродвигателя, подшипника для поворота воздухозаборника против ветра и часового механизма для перемещения собирающей поверхности мимо воздухозаборника. Простота конструкции позволила этому изобретению стать достаточно популярным – оно использовалось в фитопатологических исследованиях около 60 лет. Впоследствии механизм ловушки Херста стал основой стационарной ловушки для спор фирмы «Burkard» (Англия), в которой вместо предметного стекла для осаждения спор используется клейкая лента. Похожим устройством обладают спороулавливатели, принадлежащие фирмам «Lanzoni» (Италия) и «Rotord» (Araujo et al., 2021).

В более ранних работах встречаются пробоотборники воздуха, работающие на принципе термодиффузии («термические преципитаторы»), когда частицы из аэрозоля воздуха, отклоняясь от поверхности с более высокой температурой, осаждаются на поверхность с низкой температурой. Такие устройства более эффективны для анализа высококонцентрированного аэрозоля и небольшого объема исследуемого воздуха. При попадании частиц размером более 1 мкм у таких пробоотборников сокращается скорость отбирания проб, поэтому их практически не используют в исследованиях содержания в воздухе частиц биологического происхождения (Orr et al., 1956).

В настоящее время активно проводятся работы по усовершенствованию отбора проб, которые направлены на повышение эффективности улавливания на более высоких скоростях сбора объема воздуха, упрощение обработки полученного материала, так как после получения осажденных на предметное стекло или клейкие ленты спор фитопатогенов проводится последующий анализ посредством микроскопа, что требует значительных временных затрат. Это упрощение связано с применением диагностики на основе ДНК, например, ПЦР, TwistDX и LAMP, использованием биосенсоров, например, автоматический про-

боотборник SYield, который по беспроводной связи сообщает о результатах на месте без доставки образца в лабораторию

(West, 2015). Быстро развивающимся направлением становится разработка пробоотборников воздуха, в которых споры не оседают на твердые поверхности, а собираются в жидкой среде, что позволяет проводить экспресс-анализ несколькими методами, включая ПЦР-анализ и серологический анализ. Например, так работает пробоотборник воздуха «Coriolis δ» французского производства «Bertin Technologies» (Carvalho et al, 2008).

Спороулавливающая аппаратура в Российской Федерации. В Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР) г. Краснодар были разработаны следующие приборы.

– **Устройство для определения заспоренности растений** (Соколов и др., 2018) – импактор, в котором размещается предметное стекло, предварительно покрытое удерживающим составом (чаще всего используется вазелин). Снизу устройства находится щелевой патрубок, через который воздух вместе с содержащимися в нем спорами возбудителей болезней попадает к предметному стеклу, при этом создается слабая тяга посредством работы аспиратора.

– **Портативное спороулавливающее устройство** – также импакторного типа, оснащенное дистанционным механизмом управления.

– **Ловушка «ПЛС-15»**, представляющая собой стойку с флюгером, у которого в передней части закреплена специальная пластиковая рамка, покрытая вазелином, на нее осаждаются споры возбудителей болезней.

В ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» разработано спороулавливающее устройство, в котором споры фитопатогенов попадают внутрь через специальные улавливающие отверстия и остаются на поверхности растения. Через 1–7 дней после установки этого спороулавливателя устройство вместе с участком растения переносят в лабораторию и проводят идентификацию и подсчет спор. С помощью этого устройства возможно определять количество спор возбудителей грибных болезней на единицу поверхности растений (Сафин и др., 2018).

Способы применения спороулавливающей аппаратуры. Спороулавливающие устройства могут устанавливаться стационарно в посевах или использоваться портативно. Например, ловушки «Burkard», и «ПЛС-15», описанные выше, являются стационарными. Устройство для определения заспоренности растений ФГБНУ ФНЦБЗР является ручным спороулавливателем – при его применении исследуемого участка посевов, удерживает устройство на специальном ремне. Портативное споро-

улавливающее устройство можно устанавливать на беспилотные летательные аппараты и управлять им с земли, тем самым обеспечивая мониторинг на больших посевных площадях.

Анализ литературных источников выявил исследования, в которых показана наибольшая эффективность портативных спороулавливателей по сравнению со стационарными. Однако также были получены выводы о том, что наиболее эффективным способом мониторинга болезней является их совместное использование для дополнения полученных данных (Гасиян и др., 2022) или интеграция данных от нескольких стационарно установленных спороулавливающих устройств.

Применение спороулавливающей аппаратуры для мониторинга болезней зерновых культур. Возможности применения спороулавливающей аппаратуры на зерновых культурах показаны в ряде исследований. Например, в исследованиях по испытанию спороулавливателя ПСЛ-3 в комплекте с дистанционно пилотируемым летательным аппаратом было установлено, что устройства ПСЛ-3 и ОЗР-1мп отлавливают одинаковое количество спор, а также не отличаются по отлову спор в отношении видового состава. Однако применение дистанционного устройства более предпочтительно, так как с его помощью можно обследовать большие площади за короткий промежуток времени (Кремнева и др., 2020). В исследовании влияния обработки почвы на развитие болезней пшеницы использовался спороулавливатель ОЗР-1мп, и были получены выводы о различиях качественного и количественного состава спор фитопатогенов в зависимости от обработки почвы (Kremneva et al, 2021). Посредством дистанционного мониторинга посевов пшеницы спороулавливателем ПСЛ-2 была получена линейная закономерность между количеством спор ржавчинных грибов и степенью развития болезней. Так, при степени развития 5 % прибором было отловлено 70 шт. спор на пробу, при 25 % – 270 шт., при 50 % – 380 шт. (Соколов и др., 2018).

На основе данных, полученных спороулавливающими устройствами, возможно проведение различных исследований, связанных с анализом переноса инокулята спор фитопатогенных грибов на различные расстояния, с сезонной и суточной динамикой лета спор. Ученые из Курганской сельскохозяйственной академии предлагают при проведении отлова спор фитопатогенов зерновых культур учитывать фактор осевого вращения Земли, вызывающего движение воздушных масс. Ими была получена закономерность, согласно которой число отловленных спор с одной (правой) стороны (это объясняется проведением исследований в Северном полушарии) от вектора движения воздуха (в районе господствует ветер юго-западного направления) было в 2–2,7 раза больше, чем с другой (Богданова и др., 2010).

Выводы. Со времен разработки первой спороловушки было предложено множество способов усовершенствования спороулавливающих устройств. Чаще стали использоваться устройства, которые отбирают пробы воздуха с содержащимися в нем спорами фитопатогенов в пробирки, чтобы сделать обработку полученного материала более удобной для пользователя, посредством автоматизированного анализа образцов. Сам процесс сбора материала также совершенствуется – спороулавливающая аппаратура устанавливается на беспилотные летательные аппараты, обеспечивая менее трудоемкий, быстрый и точный фитосанитарный мониторинг. Спороулавливатели, устанавливаемые на транспортных средствах и беспилотных летательных аппаратах, вероятно, будут все шире использоваться как в исследованиях, направленных на понимание местонахождения источников распространения инфекции, так и в практических сетях оповещения о рисках возникновения тех или иных болезней. Стационарные спороулавливатели могут применяться для проведения анализа даже

неспециалистами и повысить точность решений по борьбе с болезнями в полевых, фермерских и региональных масштабах.

Разработка современной спороулавливающей аппаратуры, осуществляющей обработку данных с помощью искусственного интеллекта, приведет к более широкому ее использованию сельхозтоваропроизводителями.

В настоящий момент уже имеется достаточная техническая база спороулавливающих устройств, однако необходима разработка методик по их применению, в том числе на зерновых культурах. Также тщательного рассмотрения требуют пороговые концентрации спор, используемые для инициирования мер по борьбе с болезнями. Это позволит создать стандартизированную систему фитосанитарного мониторинга, обеспечивающую своевременную и эффективную защиту сельскохозяйственных культур.

Финансирование. Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0008.

Библиографические ссылки

1. Богданова В. В., Евсеев В. В., Голощапов А. К. Новый подход к мониторингу аэрогенной инфекции зерновых культур // Защита и карантин растений. 2010. № 8. С. 47–48.
2. Гасиян К. Э., Кремнева О. Ю., Гапоненко А. А. Сравнительные испытания стационарной и портативной спороловушек на посевах пшеницы // Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 13–15 сентября 2022 г. Вып. 11. Краснодар: Издательство «ЭДВИ», 2022. С. 139–146.
3. Кремнева О. Ю., Гасиян К. Э., Зеленский Р. А., Селиванов В. Г. Испытание пробоотборника воздуха ПСЛ-3 для дистанционного обнаружения возбудителей болезней озимой пшеницы // Техника и оборудование для села. 2020. № 11(281). С. 9–11. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-11-9-11.
4. Кремнева О. Ю., Костенко И. А., Пачкин А. А., Данилов Р. Ю., Пономарев А. В., Ким Ю. С. Картирование распространения и развития фитопатогенов на пшенице и ячмене с использованием NEXGIS // Зерновое хозяйство России. 2020. № 3(69). С. 61–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-61-66.
5. Спороулавливатель для сбора инфекционного начала фитопатогенных грибов с поверхности растений / Сафин Р. И., Валиев А. Р., Каримова Л. З., Валидов Ш. З., Низамов Р. М., Зиганшин Б. Г., Филиппова Е. А., Сабиров Р. Ф. Патент № 184233 Российская Федерация. Заявка 2018112097, 2018.04.03; опубл. 2018.10.18.
6. Соколов Ю. Г., Садковский В. Т., Кремнева О. Ю., Данилов Р. Ю., Пачкин А. А., Зеленский Р. А., Курилов А. А. Разработка технологии обнаружения очагов ржавчинных болезней пшеницы // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 12–2(78). С. 29–33. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.042>.
7. Ali M. M., Bachik N. A., Muhadi N. A., Yusof T. N. T., Gomes Ch. Non-destructive techniques of detecting plant diseases: A review // Physiological and Molecular Plant Pathology. 2019. Vol. 108, Article number 101426. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2019.101426>.
8. Araujo G. T., Amundsen E., Frick M., Gaudet D. A., Aboukhaddour R., Selinger B., Thomas J., Laroche A. Detection and quantification of airborne spores from six important wheat fungal pathogens in southern Alberta // Canadian Journal of Plant Pathology. 2021. Vol. 43(3), P. 439–454. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1817795>.
9. Carvalho E., Sindt Ch., Verdier A., C. Galán, O'Donoghue L., Parks S., Thibaudon M. Performance of the Coriolis air sampler, a high-volume aerosol-collection system for quantification of airborne spores and pollen grains // Aerobiologia. 2008. Vol. 24(4), P. 191–201. <https://doi.org/10.1007/s10453-008-9098-y>.
10. Kremneva O. Yu., Gasiyan K. E., Ponomarev A. V., Kokhmetova A. and Novoseletsky S. I. Influence of the tillage method on the development of leaf diseases of winter wheat // E3S Web of Conferences. International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021). Krasnodar, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128502027>.
11. Mahlein A.-K. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping // Plant Disease. 2016. P. 241–25. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>.
12. Nagasubramanian K., Jones S., Singh A. K., Sarkar S., Singh A., Ganapathysubramanian B. Plant disease identification using explainable 3D deep learning on hyperspectral images // Plant Methods. 2019. Vol. 15. Article number 98. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0479-8>.
13. Orr C. J., Gordon M. T., Kordecki M. C. Thermal precipitation for sampling air-borne microorganisms: comparison with other methods // Applied and Environmental Microbiology Journal. 1956. Vol. 4(3). P. 116–118. DOI: 10.1128/am.4.3.116-118.1956.

14. Singh V., Sharma N., Singh S. A review of imaging techniques for plant disease detection // *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2020. Vol. 4(4), P. 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.10.002>.
15. West J. S. Innovations in air sampling to detect plant pathogens // *Annals of Applied Biology*. 2015. Vol. 166, P. 4–17. <https://doi.org/10.1111/aab.12191>.

References

1. Bogdanova V. V., Evseev V. V., Goloshchapov A. K. Novyi podkhod k monitoringu aerogennoi infektsii zernovykh kul'tur [A new approach to monitoring aerogenic infection of grain crops] // *Zashchita i karantin rastenii*. 2010. № 8. S. 47–48.
2. Gasiyan K. E., Kremneva O. Yu., Gaponenko A. A. Sravnitel'nye ispytaniya statsionarnoi i portativnoi sporulovushek na posevakh pshenitsy [Comparative tests of stationary and portable spore traps on wheat crops] // *Biologicheskaya zashchita rastenii - osnova stabilizatsii agroekosistem: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Krasnodar, 13–15 sentyabrya 2022 g. Vyp. 11. Krasnodar: Izdatel'stvo «EDVI», 2022. S. 139–146.
3. Kremneva O. Yu., Gasiyan K. E., Zelenskii R. A., Selivanov V. G. Ispytanie probotbornika vozdukhha PSL-3 dlya distantsionnogo obnaruzheniya vzbuditelei boleznei ozimoi pshenitsy [Testing of air sampler PSL-3 for remote detection of winter wheat pathogens] // *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. № 11(281). S. 9–11. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-11-9-11.
4. Kremneva O. Yu., Kostenko I. A., Pachkin A. A., Danilov R. Yu., Ponomarev A. V., Kim Yu. S. Kartirovanie rasprostraneniya i razvitiya fitopatogenov na pshenitse i yachmene s ispol'zovaniem NEXTGIS [Mapping the distribution and development of phytopathogens on wheat and barley using NEXTGIS] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 3(69). S. 61–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-69-3-61-66.
5. Sporoulavlivatel' dlya sbora infektsionnogo nachala fitopatogennykh gribov s poverkhnosti rastenii [Spore catching equipment for collecting the infectious beginning of phytopathogenic fungi from the surface of plants] / Safin R. I., Valiev A. R., Karimova L. Z., Validov Sh. Z., Nizamov R. M., Ziganshin B. G., Filippova E. A., Sabirov R. F. Patent № 184233 Rossiiskaya Federatsiya. Zayavka 2018112097, 2018.04.03; opubl. 2018.10.18.
6. Sokolov Yu. G., Sadkovskii V. T., Kremneva O. Yu., Danilov R. Yu., Pachkin A. A., Zelenskii R. A., Kurilov A. A. Razrabotka tekhnologii obnaruzheniya ochagov rzhavchinnykh boleznei pshenitsy [Development of technology for detecting foci of wheat rust diseases] // *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2018. № 12–2(78). S. 29–33. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2018.78.12.042>.
7. Ali M. M., Bachik N. A., Muhadi N. A., Yusof T. N. T., Gomes Ch. Non-destructive techniques of detecting plant diseases: A review // *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2019. Vol. 108, Article number 101426. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2019.101426>.
8. Araujo G. T., Amundsen E., Frick M., Gaudet D. A., Aboukhaddour R., Selinger B., Thomas J., Laroche A. Detection and quantification of airborne spores from six important wheat fungal pathogens in southern Alberta // *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2021. Vol. 43(3), P. 439–454. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1817795>.
9. Carvalho E., Sindt Ch., Verdier A., C. Galán, O'Donoghue L., Parks S., Thibaudon M. Performance of the Coriolis air sampler, a high-volume aerosol-collection system for quantification of airborne spores and pollen grains // *Aerobiologia*. 2008. Vol. 24(4), P. 191–201. <https://doi.org/10.1007/s10453-008-9098-y>.
10. Kremneva O. Yu., Gasiyan K. E., Ponomarev A. V., Kokhmetova A. and Novoseletsky S. I. Influence of the tillage method on the development of leaf diseases of winter wheat // *E3S Web of Conferences*. International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research (ABR 2021). Krasnodar, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128502027>.
11. Mahlein A.-K. Plant Disease Detection by Imaging Sensors – Parallels and Specific Demands for Precision Agriculture and Plant Phenotyping // *Plant Disease*. 2016. P. 241–25. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>.
12. Nagasubramanian K., Jones S., Singh A. K., Sarkar S., Singh A., Ganapathysubramanian B. Plant disease identification using explainable 3D deep learning on hyperspectral images // *Plant Methods*. 2019. Vol. 15. Article number 98. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0479-8>.
13. Orr C. J., Gordon M. T., Kordecki M. C. Thermal precipitation for sampling air-borne microorganisms: comparison with other methods // *Applied and Environmental Microbiology Journal*. 1956. Vol. 4(3). P. 116–118. DOI: 10.1128/am.4.3.116-118.1956.
14. Singh V., Sharma N., Singh S. A review of imaging techniques for plant disease detection // *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2020. Vol. 4(4), P. 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.10.002>.
15. West J. S. Innovations in air sampling to detect plant pathogens // *Annals of Applied Biology*. 2015. Vol. 166, P. 4–17. <https://doi.org/10.1111/aab.12191>.

Поступила: 30.11.22; доработана после рецензирования: 28.12.22; принята к публикации: 19.01.23.

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. Кремнева О. Ю. – концептуализация и проектирование исследования, анализ и интерпретация данных; Гасиан К. Э. – сбор, анализ и интерпретация данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.