
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ
Т. 15, № 6. 2023 год

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

Калинина Н. В. – главный редактор (Зерноград, Россия);
Ковтунова Н. А. – зам. главного редактора, канд. с.-х. наук (Зерноград, Россия);
Лобунская И. А. – тех. секретарь (Зерноград, Россия).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

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

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

Журнал включен в Перечень ВАК Минобрнауки России ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, 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. Агронимия, 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 – Скуйбедина О.Н.

Адрес учредителя и издателя: 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3.
Тел.: 8(863)594-17-58; E-mail: zhros.don@yandex.ru

Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать 27.12.2023

Дата выхода 28.12.2023. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ №

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

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL
GRAIN ECONOMY OF RUSSIA
V. 15, № 6. 2023

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

Kalinina N. V. – chief editor (Zernograd, Russia);
Kovtunova N. A. – deputy chief editor, Candidate of Agricultural Sciences (Zernograd, Russia);
Lobunskaya I. A. – 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);
Upadyshev M. T., Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery – Dr. Sci. (Agriculture),
professor of RAS, corresponding member of RAS (Moscow, Russia);
Shevchenko S. N., Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture),
academician of RAS (Samara, Russia);

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

- Urban E. P.**, RUE "The Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming" –
Dr. Sci. (Agriculture), professor, corresponding member of NAS (Zhodino, The Republic of Belarus);
Usenbekov B. N., Institute of Plant biology and biotechnology – Cand. Sci. (Biology), professor, (Almaty, The Republic of Kazakhstan)
Khalil Surek, Trakia Agricultural Research Institute – PhD (Edirne, Turkey);
Yusupov G. Yu., Ministry of Agriculture and Water Management of Turkmenistan – Cand. Sci. (Agriculture) (Ashkhabad, Russia);

*The journal has been registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology
and Mass Media (Roskomnadzor). Registration number is PI No. FS 77-81134 dated May 17, 2021*

The 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.

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

The journal is issued 6 times a year. Signed for publication 27.12.2023

The date of the issue is 28.12.2023. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.

Printed in Ltd "Amirit", 410004, Saratov, Chernyshevsky Str., 88

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Зависимость реакции на ЦМС линий кукурузы от их происхождения	5
Костыленко О. А., Иванисова А. С., Дубинина О. А., Кравченко Н. С. Реакция перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы по урожайности и некоторым признакам качества зерна на различные предшественники	12
Попова Т. Н. Определение насыщенности раствора сахарозы для оценки засухоустойчивости сортов люцерны в условиях Саратовского Заволжья	19
Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В. Оценка параметров адаптивности образцов гороха с разным типом листа	24
Блинова Я. А., Бабина Д. Д., Ханова А. С., Король М. Ю., Бондаренко Е. В. Поиск эффективного морфометрического параметра, соответствующего сильновакуолизированной стадии микроспор у ячменя обыкновенного	29
Лобунская И. А., Газе В. Л., Костылев П. И., Яновская Н. В., Черпакова Е. Ю., Иванисов М. М. Вклад элементов структуры урожая в формирование продуктивности озимой пшеницы при различной влагообеспеченности	36
Немцова Ю. А., Кузнецова Д. В., Гринберг М. А., Воденев В. А., Донцова А. А., Донцов Д. П., Бондаренко В. С., Волкова П. Ю., Бондаренко Е. В. Y(II) и NPQ – перспективные показатели фотосинтеза для прогнозирования засухоустойчивости ячменя	43
Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Черткова Н. Г., Марченко Д. М. Получение растений-регенерантов межвидовых гибридов пшеницы с использованием незрелых зародышей в качестве эксплантов	52
Кагермазов А. М., Хачидогов А. В. Анализ количественных и хозяйственно ценных признаков линий кукурузы коллекции ВИР в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии	59
Рыбась И. А., Иванисов М. М., Марченко Д. М., Киринов А. В., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю., Ивженко Н. А. Оценка параметров адаптивности сортов озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области	67

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Дятлова М. В., Шайкова Т. В., Волкова Е. С. Растениеводческая продукция озимой пшеницы и ее качество при использовании комплексных удобрений	74
Митрофанов Ю. И., Пугачева Л. В., Гуляев М. В., Первушина Н. К. Влияние осушения, удобрений и агроулучшающих приемов на урожайность яровой пшеницы	82
Лукиянов В. А., Нитченко Л. Б. Влияние севооборотов и минеральных удобрений на показатели экономико-энергетической эффективности при возделывании озимой пшеницы в ЦЧР	90

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Шишкин Н. В., Дерова Т. Г. Комплексная оценка коллекции CUMMIT (Турция) озимой мягкой пшеницы на устойчивость к распространенным болезням в южной зоне Ростовской области	99
Тарчоков Х. Ш., Тутукова Д. А., Матаева О. Х. Меткий, МД – новый отечественный гербицид для борьбы с сорняками на посевах кукурузы	105

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Krivosheev G. Ya., Ignatiev A. S. Correlation between the response of maize lines to CMS and their origin	5
Kostylenko O. A., Ivanisova A. S., Dubinina O. A., Kravchenko N. S. Response of promising winter durum wheat varieties and lines according to productivity and some traits of grain quality to various forecrops	12
Popova T. N. Estimation of sucrose solution saturation to assess the drought resistance of alfalfa varieties in the conditions of the Saratov Trans-Volga region	19
Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V. Estimation of pea samples with different leaf types according to adaptability parameter	24
Blinova Ya. A., Babina D. D., Khanova A. S., Korol M. Yu., Bondarenko E. V. Search for an effective morphometric parameter corresponding to the highly vacuolated stage of microspores in common barley	29
Lobunskaya I. A., Gaze V. L., Kostylev P. I., Yanovskaya N. V., Cherpakova E. Yu., Ivanisov M. M. Contribution of yield structure elements to the winter wheat productivity formation at different moisture availability	36
Nemtsova Yu. A., Kuznetsova D. V., Grinberg M. A., Vodeneev V. A., Dontsova A. A., Dontsov D. P., Bondarenko V. S., Volkova P. Yu., Bondarenko E. V. Promising photosynthetic parameters Y(II) and NPQ for predicting barley drought tolerance	43
Kalinina N. V., Dontsova V. Yu., Chertkova N. G., Marchenko D. M. Development of regenerated plants of interspecific wheat hybrids using immature embryos as explants	52
Kagermazov A. M., Khachidogov A. V. The analysis of quantitative and economically valuable traits of maize lines from the VIR collection in the conditions of the foothill zone of Kabardino-Balkaria	59
Rubas' I. A., Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kirin A. V., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu. Yu., Ivzhenko N. A. Estimation of adaptability parameters of winter wheat varieties in the southern part of the Rostov region	67

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Dyatlova M. V., Shaikova T. V., Volkova E. S. Winter wheat crop production and its quality when using complex fertilizers	74
Mitrofanov Yu. I., Pugacheva L. V., Gulyaev M. V., Pervushina N. K. The effect of drainage, fertilizers, and agro-reclamation techniques on spring wheat productivity	82
Lukyanov V. A., Nitchenko L. B. The effect of crop rotations and mineral fertilizers on economic and energy efficiency indicators when cultivating winter wheat in the Central Blackearth region	90

PLANT PROTECTION

Shishkin N. V., Derova T. G. Comprehensive estimation of the collection CUMMIT (TURKEY) of winter common wheat for resistance to common diseases in the southern part of the Rostov region	99
Tarchokov Kh. Sh., Tutukova D. A., Mataeva O. Kh. A new domestic herbicide for weed control in maize crops 'Metkiy, MD'	105

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.15:631.52

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-5-11

ЗАВИСИМОСТЬ РЕАКЦИИ НА ЦМС ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ОТ ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Г. Я. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;

А. С. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatjev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600

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

Перевод гибридов кукурузы на стерильную основу – важнейшее условие внедрения их в производство. В связи с этим актуально изучение поведения в стерильной цитоплазме исходных форм гибридов – самоопыленных линий. Цель исследований – оценить реакцию новых самоопыленных линий кукурузы в зависимости от их происхождения на «М» и «С» типы ЦМС, выделить естественные восстановители и полные закрепители стерильности. Исследования проведены в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021–2023 годах. Объект исследований: 20 новых самоопыленных линий кукурузы различного происхождения, 6 источников стерильности, 120 тест-кроссных гибридов кукурузы. Установлено, что реакция линий кукурузы зависела от их происхождения. Линии, относящиеся к одной группе (по происхождению), имели, как правило, одинаковую реакцию на молдавский («М») и боливийский («С») типы цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). Различия тем меньше, чем ближе родство линий. Новые самоопыленные линии первой группы – СЛ 171, СЛ 172 СЛ 174, СЛ 175, СЛ 176 и СЛ 177 характеризовались полным закреплением стерильности «М» типа ЦМС (класс 0). Линии подгруппы Ia закрепляли, а подгруппы Ib не полностью восстанавливали стерильность «С» типа. Во второй группе выделены полные – СЛ 181, СЛ 182 (класс 4, 5) и неполные – СЛ 183, СЛ 184 (класс 2 – 5) восстановители «М» типа стерильности. Определено, что все линии второй группы закрепляли стерильность боливийского типа (класс 0). Выделены линии третьей группы полные восстановители «М» типа ЦМС – СЛ 191, СЛ 192, СЛ 193 СЛ 194, две из них (СЛ 191 и СЛ 193) являются и полными восстановителями «С» типа ЦМС (класс 4, 5). Все линии четвертой группы отнесены к полным закрепителям (класс 0, 1) изучаемых типов ЦМС. Полученные результаты повысят эффективность работ по переводу гибридов кукурузы на стерильную основу.

Ключевые слова: кукуруза, гибриды, самоопыленные линии, стерильность, фертильность, закрепители, восстановители.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Зависимость реакции на ЦМС линий кукурузы от их происхождения // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-5-11.



CORRELATION BETWEEN THE RESPONSE OF MAIZE LINES TO CMS AND THEIR ORIGIN

G. Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID 0000-0002-5876-7672

A. S. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatjev1983@rambler.ru, ORCID 0000-0002-0319-4600

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

Transferring maize hybrids to a sterile basis is the most important condition for their introduction into production. In this regard, it is important to study the behavior of the initial forms of hybrids, namely self-pollinated lines, in the sterile cytoplasm. The purpose of the current study was to estimate the response of new self-pollinated maize lines, depending on their origin, to the “M” and “C” types of CMS, to identify natural restoring agents and complete sterility fixatives. The study was carried out at the FSBSI “ARC “Donskoy” in 2021–2023. The subjects of the study were 20 new self-pollinated maize lines of various origins, 6 sources of sterility, 120 testcross maize hybrids. There was found that the response of maize lines depended on their origin. Lines belonging to the same group (by origin) usually had the same reaction to the Moldovan (“M”) and Bolivian (“C”) types of cytoplasmic male sterility (CMS). The closer the lines are related, the smaller the differences. The new self-pollinated lines of the first group ‘SL 171’, ‘SL 172’, ‘SL 174’, ‘SL 175’, ‘SL 176’ and ‘SL 177’ were characterized by complete consolidation of the type “M” of CMS (class 0). Lines of subgroup Ia were fixed, but subgroups Ib did not completely restore the type “C” of sterility. In the second group there were identified the complete ‘SL 181’, ‘SL 182’ (class 4, 5) and incomplete ‘SL 183’, ‘SL 184’ (class 2–5) reducing agents of the type “M” of sterility. There was determined that all lines of the second group perpetuated ste-

rility of the Bolivian type (class 0). There have been identified the lines of the third group 'SL 191', 'SL 192', 'SL 193', 'SL 194', as full reducing agents of the type "M" of CMS, two of them 'SL 191' and 'SL 193' are also complete reducing agents of the type "C" of CMS (class 4, 5). All lines of the fourth group could be classified as complete fixatives (class 0, 1) of the studied types of CMS. The results obtained will improve the efficiency of work on transferring maize hybrids to a sterile basis.

Keywords: maize, hybrids, self-pollinated lines, sterility, fertility, fixatives, reducing agents.

Введение. В настоящее время как в Российской Федерации, так и в мире используются в производстве не сорта, а гибриды кукурузы. Селекция и семеноводство гибридной кукурузы предполагают необходимость перевода гибридов на стерильную основу. Для этого необходимо изучение исходных форм гибридов – самоопыленных линий по реакции на различные типы ЦМС и изучение некоторых других аспектов, касающихся стерильности у кукурузы, в частности вопросов генетического контроля стерильности (Анисимова, 2020), совершенствования методики оценки уровня фертильности и полноты стерильности (Сотченко и др., 2007), влияния мужской стерильности на урожайность растений кукурузы (Loussaert et al., 2017).

Исследователи изучают возможность использования различных типов стерильных цитоплазм (Кибальник и Эльконин, 2020). Одна из важнейших проблем – стабильность проявления стерильности в различных условиях у различных типов ЦМС.

Создание стерильных аналогов и их изучение – важнейшая задача селекционеров, работающих с гибридной кукурузой (Zhang et al., 2020). Комбинационная способность и реакция линий на ЦМС должна быть обязательно оценена для выделения наиболее перспективных (Хатефов и др., 2016).

Цитоплазматическую мужскую стерильность используют не только у кукурузы, но и у других сельскохозяйственных культур, у которых создают и внедряют в производство гибриды (Bohra et al., 2016; Анисимова и Гавриленко, 2017).

Изучена оптимизация анализирующих скрещиваний для оценки реакции линий кукурузы на ЦМС (Krivosheev and Ignatyev, 2022). Вместе с тем, остается еще много невыясненных вопросов, решение которых может повысить эффективность создания линий, представляющих наибольшую ценность при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу. В частности, использование для закладки новых линий исходного материала с высоким выходом естественных восстановителей фертильности либо полных закрепителей стерильности.

Цель исследований – оценить реакцию новых самоопыленных линий кукурузы в зависимости от их происхождения на «М» и «С» тип ЦМС, выделить естественные восстановители и полные закрепители стерильности.

Материалы и методы исследований. Полевые исследования проведены в 2021–2023 годах. Место закладки полевых опытов – селекционное поле лаборатории селекции и семеноводства кукурузы ФГБНУ «АНЦ «Донской».

В качестве объекта исследований взяты 20 новых самоопыленных линий кукурузы (I₀), созданных в АНЦ «Донской». Они объединены в 4 группы по происхождению – каждая группа линий получена на основе отдельной специально созданной популяции кукурузы. Для определения реакции на стерильную цитоплазму подобраны 3 стерильных источника (анализатора) молдавского («М») типа ЦМС и 3 источника боливийского («С») типа ЦМС. Источники стерильности использовали как тестеры в скрещиваниях для получения тесткроссных гибридов, которые оценивали по цветению мужских соцветий. Всего было получено и оценено 120 тесткроссных гибридов кукурузы. Визуальная оценка фертильности метелок выполнена по методике Гонторовского (1971): классы 0, 1 – полная стерильность, классы 2, 3 – частичная фертильность, классы 4, 5 – фертильность полная или высокого уровня. Закладку полевых опытов проводили согласно Методическим указаниям по проведению полевых опытов с кукурузой (1980). Площадь деленки 9,8 м², повторность трехкратная.

Среднемноголетнее количество осадков за период вегетации кукурузы (май – август) составляет 225,5 мм. Учитывая, что пункт проведения исследований относится к зонам с неустойчивым увлажнением, лимитирующим фактором считается влага. Годы проведения исследований оказались контрастными по влагообеспеченности: 2021 и 2022 гг. – засушливые, количество осадков соответствовало среднемноголетней норме, однако распределение их в течение вегетации было неравномерным, вследствие чего во второй половине вегетации отмечалась засуха, 2023 г. – влагообеспеченный, количество осадков за период вегетации кукурузы превысило среднемноголетнюю норму.

Результаты и их обсуждение. Изучаемые самоопыленные линии кукурузы были разделены на группы и подгруппы по происхождению. Первая группа (I) представлена семью образцами, которые получены путем самоопыления специально созданной популяции СП 1. Причем эта группа линий разделена на подгруппы (Ia и Ib) (табл. 1).

Внутри подгруппы расхождения между линиями произошли после третьего самоопыления, а расхождения между подгруппами – начиная с первого самоопыления. То есть линии внутри подгруппы состояли в большем родстве, чем было родство между линиями разных подгрупп. Вторая группа (II) представлена четырьмя самоопыленными линиями, полученными из специально созданной популяции СП 2. Различие между линиями начинается с третьего самоопыления. Третья группа (III)

представлена линиями, полученными из популяции СП 3. Расхождение по генотипу также начинается с третьего самоопыления. Четвертая группа (IV) – 5 линий, в том числе подгруппа IVa (4 линии) и подгруппа IVb (1 линия). Различия между подгруппами по наследственной основе произошли уже начиная с первого самоопыления, то есть при первом самоопылении были

отобраны 2 початка, один из которых впоследствии дал начало линиям подгруппы IVa, второй – линиям подгруппы IVb. Расхождение по наследственной основе между линиями подгруппы IVa происходило начиная с третьего самоопыления, когда для дальнейшей работы были взяты 3 различных самоопыленных початка.

Таблица 1. Реакция новых самоопыленных линий кукурузы в стерильной цитоплазме «М» типа ЦМС (2021–2023 гг.)
Table 1. Response of new self-pollinated maize lines in the sterile cytoplasm type “M” of CMS (2021–2023)

Группы и подгруппы линий	Название линий	Стерильные источники			Классификация линий
		КЛ 170 М×КЛ 179 ЗМ	КЛ 180 М×КЛ 189 ЗМ	КЛ 190 М×КЛ 199 ЗМ	
Ia	СЛ 171	с (0)	с (0)	с (0)	ЗМ
	СЛ 172	с (0)	с (0)	с (0)	ЗМ
	СЛ 173	с (1)	с (1)	с, чф (1,2)	НЗМ
Ib	СЛ 174	с (0,1)	с (1)	с (0,1)	ЗМ
	СЛ 175	с (0,1)	с (0,1)	с (0,1)	ЗМ
	СЛ 176	с (0)	с (0,1)	с (0)	ЗМ
	СЛ 177	с (1)	с (1)	с (1)	ЗМ
II	СЛ 181	ф (5)	ф (5)	ф (4,5)	ВМ
	СЛ 182	ф (5)	ф (5)	ф (4,5)	ВМ
	СЛ 183	чф, ф (2-5)	чф, ф (3-5)	ф (4,5)	НВМ
	СЛ 184	чф, ф (3-5)	ф (5)	ф (5)	НВМ
III	СЛ 191	ф (5)	ф (5)	ф (5)	ВМ
	СЛ 192	ф (5)	ф (5)	ф (5)	ВМ
	СЛ 193	ф (5)	ф (4,5)	ф (4,5)	ВМ
	СЛ 194	ф (4,5)	ф (4,5)	ф (4,5)	ВМ
IVa	СЛ 201	с (0)	с (0)	с (0)	ЗМ
	СЛ 202	с (0)	с (0)	с (0)	ЗМ
	СЛ 203	с (0,1)	с (0,1)	с (0,1)	ЗМ
	СЛ 204	с (1)	с (1)	с (1)	ЗМ
IVb	СЛ 205	с (0,1)	с (0,1)	с (0,1)	ЗМ

Примечание. 1, 2, 3, 4, 5 классы по шкале Гонтаровского: с – стерильные; чф – частично фертильные; ф – фертильные.

ЗМ – закрепители стерильности; НЗМ – неполные закрепители; НВМ – неполные восстановители; ВМ – восстановители «М» типа ЦМС.

По результатам визуальной оценки цветения метелок гибридов, полученных от скрещивания источников стерильности «М» типа ЦМС и линий, выполнена классификация по восстановительной и закрепительной способности.

Новые самоопыленные линии кукурузы первой группы, независимо от принадлежности к подгруппе (СЛ 171, СЛ 172, СЛ 174, СЛ 175, СЛ 176, СЛ 177), полностью закрепили стерильность «М» типа ЦМС в скрещиваниях со всеми используемыми стерильными источниками (КЛ 170 М×КЛ 179 ЗМ, КЛ 180 М×КЛ 189 ЗМ, КЛ 190 М×КЛ 199 ЗМ). Причем тесткроссные гибриды от скрещивания с линиями СЛ 171 и СЛ 172 оценены как стерильные с классом 0, то есть выбрасывание пыльников из колосков метелки вообще не происходило. У тесткроссов СЛ 177 происходило массовое выбрасывание стерильных пыльников из колосков метелки (класс 1). У тесткроссов остальных линий имелись метелки обоих классов (0, 1). Только одна линия первой группы (СЛ 173) и только в скрещивании с анализатором КЛ 190 М×КЛ 199 ЗМ

имела в потомстве частично фертильные метелки (класс 2). Поэтому она отнесена к неполным закрепителям стерильности «М» типа ЦМС. Таким образом, линии первой группы, за исключением одной, не различались по закрепительной способности «М» типа ЦМС. Не было значительных различий и между подгруппами линий.

Новые самоопыленные линии второй группы (СЛ 181 и СЛ 182) в потомстве от анализирующих скрещиваний со стерильными источниками «М» типа ЦМС имели потомство высокого уровня фертильности (класс 4, 5). Эти линии относятся к естественным восстановителям фертильности молдавского типа ЦМС. Тесткроссы линий СЛ 183 и СЛ 184 имели частичную (класс 2, 3) либо полную фертильность (класс 4, 5) в зависимости от источника стерильности, поэтому они классифицированы как неполные восстановители фертильности «М» типа ЦМС (НВМ). То есть линии второй группы, полученной из одного и того же исходного материала, имели сходство по реакции

на молдавский тип стерильности – все они оказались восстановителями. Но при этом имелось и различие по полноте восстановительной способности.

Наиболее сходной оказалась реакция на стерильность молдавского типа у линий третьей группы (СЛ 191, СЛ 192, СЛ 193, СЛ 194). Потомства всех этих линий, независимо от источника стерильности, отличались фертильностью высокого уровня (класс 4, 5), что позволяет их считать надежными естественными восстановителями «М» типа ЦМС.

Новые самоопыленные линии четвертой группы полностью закрепляли стерильность в скрещиваниях со всеми используемыми источниками молдавского типа. Они классифицированы как закрепители стерильности (ЗМ).

Массовое выбрасывание стерильных пыльников (класс 1) отмечено у всех тесткроссов линии СЛ 204, все стерильные тесткроссы линии СЛ 202 характеризовались отсутствием выходящих из колосков пыльников (класс 0), потомства линий СЛ 202, СЛ 204 и СЛ 205 имели класс 0 или 1.

Таким образом, от используемого для создания линий исходного материала зависит реакция линий на молдавский тип стерильности. В наших исследованиях линии, состоящие в родстве, как правило, одинаково реагировали на стерильную цитоплазму. Различия в реакции оказались тем меньше, чем ближе в родстве состояли линии.

Подобные результаты получены по боливийскому («С») типу ЦМС (табл. 2).

Таблица 2. Реакция новых самоопыленных линий кукурузы в стерильной цитоплазме «С» типа ЦМС (2021–2023 гг.)
Table 2. Response of new self-pollinated maize lines in the sterile cytoplasm type “С” of CMS (2021–2023)

Группы и подгруппы линий	Название линий	Стерильные источники			Классификация линий
		РД 201 С × РД 202 ЗС	РД 211 С × РД 212 ЗС	РД 187 С × РД 188 ЗС	
Ia	СЛ 171	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 172	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 173	с (0)	с (0)	с, (0)	ЗС
Iв	СЛ 174	с, чф (0,2)	с, чф (0-3)	ф (3)	НЗС
	СЛ 175	чф, ф (2-4)	чф, ф (3-5)	ф (4,5)	НВС
	СЛ 176	с, чф, ф (1-4)	чф, ф (3-5)	ф (5)	НВС
	СЛ 177	чф (2,3)	чф, ф (2-4)	ф (5)	НВС
II	СЛ 181	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 182	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 183	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 184	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
III	СЛ 191	ф (4)	ф (5)	ф (5)	ВС
	СЛ 192	чф, ф (2-4)	чф, ф (3-5)	ф (5)	НВС
	СЛ 193	ф (4)	ф (4,5)	ф (5)	ВС
	СЛ 194	чф, ф (2,5)	чф, ф (3-5)	ф (5)	НВС
IVa	СЛ 201	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 202	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 203	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
	СЛ 204	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС
IVв	СЛ 205	с (0)	с (0)	с (0)	ЗС

Примечание. 1, 2, 3, 4, 5 классы по шкале Гонтаровского: с – стерильные; чф – частично фертильные; ф – фертильные.

ЗС – закрепители стерильности; НЗС – неполные закрепители; НВС – неполные восстановители; ВС – восстановители «С» типа ЦМС.

Новые самоопыленные линии первой подгруппы Ia (СЛ 171, СЛ 172, СЛ 173) имели полностью стерильное потомство (класс 0) от скрещивания с любым источником стерильности «С» типа ЦМС (РД 201 С × РД 202 ЗС, РД 211 С × РД 212 ЗС, РД 187 С × РД 188 ЗС). Они классифицированы как полные закрепители стерильности (ЗС) боливийского типа. А линии подгруппы Iв (СЛ 174, СЛ 175, СЛ 176, СЛ 177) имели совершенно другую реакцию. Гибриды, полученные с их участием, имели, как правило, частичную фертильность (класс 2, 3), реже полную фертильность (класс 4, 5) или полную стерильность (класс 0).

На основе уровня фертильности тесткроссных потомств линия СЛ 174 отнесена к неполным закрепителям стерильности (НЗС), а линии СЛ 175, СЛ 176 и СЛ 177 – к неполным восстановителям фертильности «С» типа ЦМС. Таким образом, по первой подгруппе линий (Ia) отмечено полное сходство закрепительной способности линий, по подгруппе I в – значительное сходство между линиями по восстановительной способности. А что касается различий между подгруппами, то по реакции на «С» тип ЦМС они оказались значительными.

Потомства от скрещивания второй группы новых линий (СЛ 181, СЛ 182, СЛ 183, СЛ 184)

со стерильными анализаторами «С» типа оказались полностью стерильны (класс 0) независимо от источника стерильности. Это позволяет отнести все линии второй группы к полным закрепителям стерильности боливийского типа ЦМС (ЗС). Никакого различия между линиями этой группы по закрепительной способности не наблюдалось.

Проведенные исследования позволили установить, что самоопыленные линии третьей группы оказались естественными восстановителями фертильности боливийского типа ЦМС, однако они различались между собой по восстановительной способности. Восстановление фертильности в анализирующих скрещиваниях с линиями СЛ 191 и СЛ 193 происходило полностью, уровень фертильности высокий (класс 4, 5). У линий СЛ 192 и СЛ 193 полное восстановление фертильности отмечено только в скрещиваниях с тестером РД 187С×РД 189 ЗС, а в скрещивании с тестерами РД 201 С×РД 202 ЗС и РД 211 С×РД 212 ЗС выявлены частично фертильные метелки (класс 2, 3). Полученные результаты служат доказательством того, что первые две являются полными (ВС), а две последние – неполными (НВС) восстановителями фертильности «С» типа ЦМС.

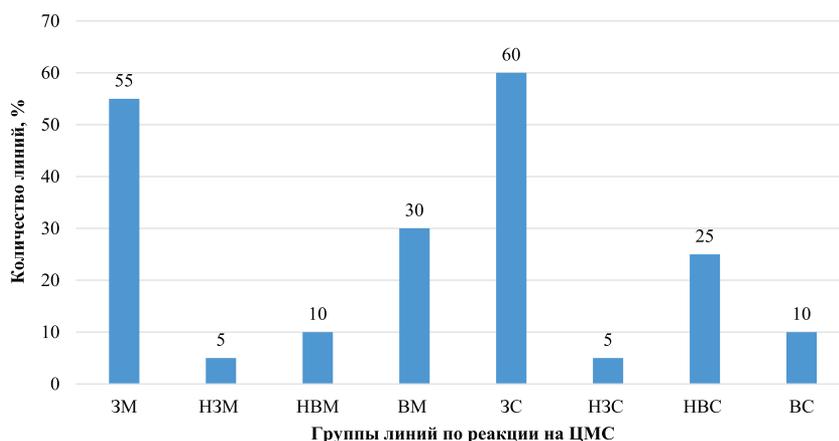
Новые самоопыленные линии четвертой группы, независимо от принадлежности к подгруппе (IVa или IVb), имели абсолютно одинаковую реакцию на «С» тип ЦМС. В скрещиваниях этих линий со всеми источниками стерильно-

сти потомство было полностью стерильным (класс 0). То есть линии этой группы отнесены к полным закрепителям стерильности боливийского типа ЦМС (ЗС).

Проведенные исследования выявили зависимость реакции новых самоопыленных линий кукурузы на «С» тип ЦМС от их происхождения. Линии, полученные из одного и того же исходного материала, как правило, имели сходную реакцию.

Для селекционеров наибольшую практическую ценность представляют линии, характеризующиеся полной восстановительной способностью (ВМ, ВС) или полной закрепительной способностью (ЗМ, ЗС). Линии, полностью восстанавливающие фертильность – естественные восстановители фертильности, могут быть использованы в качестве отцовских форм гибридов кукурузы, семеноводство которых ведется на стерильной основе. А самоопыленные линии – полные закрепители стерильности больше подходят в качестве материнских форм. По таким линиям, как правило, не возникает сложностей при создании стерильных аналогов.

В наших исследованиях естественные восстановители «М» типа ЦМС составили 30 % от общего количества линий, полные закрепители стерильности – 55 %. Остальные новые линии имели промежуточную реакцию: неполные восстановители либо неполные закрепители стерильности (см. рис.).



Распределение самоопыленных линий кукурузы по реакции на «М» и «С» тип ЦМС (2021–2023 гг.)
Distribution of self-pollinated maize lines according to their response to the “M” and “C” types of CMS (2021–2023)

Примечание. ЗМ – закрепители стерильности; НЗМ – неполные закрепители; НВМ – неполные восстановители, ВМ – восстановители «М» типа ЦМС; ЗС – закрепители стерильности; НЗС – неполные закрепители; НВС – неполные восстановители; ВС – восстановители «С» типа ЦМС.

Доля естественных восстановителей «С» типа ЦМС составила 10 %, а доля полных закрепителей стерильности – 60 %. Неполные закрепители и неполные восстановители фертильности в сумме составили 30 %.

Выводы. Реакция новых самоопыленных линий кукурузы на «М» и «С» тип ЦМС зависела от их происхождения. Линии, полученные из одного и того же исходного материала,

как правило, имели одинаковую реакцию. Различия между линиями по восстановительной способности были тем меньше, чем ближе родство этих линий. Выявлено, что линии первой группы, за исключением линии СЛ 173, относятся к закрепителям стерильности «М» типа ЦМС, линии подгруппы Ia – к закрепителям «С» типа ЦМС, линии подгруппы Ib – неполным закрепителям, неполным и полным восстанови-

телям «С» типа ЦМС. Все линии второй группы являются полными закрепителями стерильности боливийского и восстановителям молдавского типа ЦМС с различным уровнем восстановления. Линии третьей группы отнесены к полным восстановителям «М» типа и восстановителям разного уровня «С» типа стерильности. Все линии четвертой группы классифици-

рованы как полные закрепители стерильности молдавского и боливийского типов ЦМС.

Проведенные исследования позволили выявить самоопыленные линии – естественные восстановители фертильности и полные закрепители стерильности, представляющие наибольшую ценность при переводе гибридов кукурузы на стерильную основу.

Библиографические ссылки

1. Анисимова И.Н. Структурно-функциональная организация генов, индуцирующих и супрессирующих цитоплазматическую мужскую стерильность у растений // Генетика. 2020. № 11. С. 1239–1249. DOI: 10.31857/S0016675820110028
2. Анисимова И.Н., Гавриленко Т.А. Цитоплазматическая мужская стерильность и перспективы ее использования в селекционно-генетических исследованиях и семеноводстве картофеля // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. № 21(1). С. 83–95 DOI: 10.18699/VJ17.226
3. Кибальник О.П., Эльконин Л.А. Влияние разных типов стерильных цитоплазм (A3, A4, 9E) на комбинационную способность ЦМС-линий сорго // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. № 24(6). С. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648
4. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Косогорова Н.И. С-тип цитоплазматической мужской стерильности кукурузы // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2007. № 2. С. 12–14.
5. Хатефов Э.Б., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С., Кудяев Р.А., Хаширова З.Т., Гяургиев А.Х. Характеристика редиплоидных линий кукурузы селекции ВИР по комбинационной способности и реакции на ЦМС // Биотехнология и селекция растений. 2019. № 2(4). С. 15–23. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-о2
6. Bohra A., Jha U.C., Adhimoolam P., Bisht D., Singh N.P. Cytoplasmic male sterility (CMS) in hybrid breeding in field crops // Plant Cell Reports. 2016. Vol. 35(5), P. 967–993. DOI: 10.1007/s00299-016-1949-3
7. Krivosheev G. Ya., Ignatyev A. S. The response of maize lines to the Paraguay type of CMS // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Vol. 11(226), P. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-38-45
8. Loussaert D., DeBruin J., Pablo J. S. M., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T, Albertsen M. Genetic Male Sterility (*Ms44*) Increases Maize Grain Yield // Crop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2313–2890. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654
9. Zhang H., Cui G., Wang C., Wang X., Hao Y., Du J., Wang Y., Sun Y. Breeding and Characteristics of a New Male Sterile Line of Maize, Jinyu1A // Scientia Agricultura Sinica. 2020. Vol 53, Iss. 21. P. 4322–4332. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

References

1. Anisimova, I.N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya genov, indutsiruyushchikh i supressiruyushchikh tsitoplazmaticheskuyu muzhskuyu steril'nost' u rastenii [Structural and functional organization of genes that induce and suppress cytoplasmic male sterility in plants] // Genetika. 2020. № 11. S. 1239–1249. DOI: 10.31857/S0016675820110028
2. Anisimova I.N., Gavrilenko T.A. Tsitoplazmaticheskaya muzhskaya steril'nost' i perspektivy ee ispol'zovaniya v selektsionno-geneticheskikh issledovaniyakh i semenovodstve kartofelya [Cytoplasmic male sterility and prospects for its use in breeding and genetic research and potato seed production] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2017. № 21(1). S. 83–95 DOI: 10.18699/VJ17.226
3. Kibal'nik O. P., El'konin L.A. Vliyanie raznykh tipov steril'nykh tsitoplazm (A3, A4, 9E) na kombinatsionnuyu sposobnost' TsMS-linii sorgo na kombinatsionnuyu sposobnost' TsMS-linii sorgo [The effect of different types of sterile cytoplasms (A3, A4, 9E) on the combining ability of CMS sorghum lines on the combining ability of CMS sorghum lines] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2020. № 24(6). S. 549–556. DOI: 10.18699/VJ20.648
4. Sotchenko V.S., Gorbacheva A.G., Kosogorova N.I. S-tip tsitoplazmaticheskoi muzhskoi steril'nosti kukuruzy [C-type cytoplasmic male sterility of maize] // Doklady Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk. 2007. № 2. S. 12–14.
5. Khatefov E. B., Shomakhov B. R., Kushkhova R. S., Kudaev R. A., Khashirova Z. T., Gyaurgiev A. Kh. Kharakteristika rediploidnykh linii kukuruzy seleksii VIR po kombinatsionnoi sposobnosti i reaktsii na TsMS [Characteristics of rediploid maize lines bred by VIR in terms of combining ability and response to CMS] // Biotehnologiya i selektsiya rastenii. 2019. № 2(4). S. 15–23. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-4-о2
6. Bohra A., Jha U.C., Adhimoolam P., Bisht D., Singh N.P. Cytoplasmic male sterility (CMS) in hybrid breeding in field crops // Plant Cell Reports. 2016. Vol. 35(5), P. 967–993. DOI: 10.1007/s00299-016-1949-3
7. Krivosheev G. Ya., Ignatyev A. S. The response of maize lines to the Paraguay type of CMS // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. Vol. 11(226), P. 38–45. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-226-11-38-45
8. Loussaert D., DeBruin J., Pablo J. S. M., Schussler J., Pape R., Clapp J., Mongar N., Fox T, Albertsen M. Genetic Male Sterility (*Ms44*) Increases Maize Grain Yield // Crop Science. 2017. Vol. 57, Iss. 5. P. 2313–2890. DOI: 10.2135/cropsci2016.08.0654
9. Zhang H., Cui G., Wang C., Wang X., Hao Y., Du J., Wang Y., Sun Y. Breeding and Characteristics of a New Male Sterile Line of Maize, Jinyu1A // Scientia Agricultura Sinica. 2020. Vol 53, Iss. 21. P. 4322– 4332. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2020.21.002

Поступила: 22.09.23; доработана после рецензирования: 10.10.23; принята к публикации: 12.10.23.

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. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнатъев А. С. – анализ данных и интерпретация, выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

РЕАКЦИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ ПО УРОЖАЙНОСТИ И НЕКОТОРЫМ ПРИЗНАКАМ КАЧЕСТВА ЗЕРНА НА РАЗЛИЧНЫЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКИ

О. А. Костыленко, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы, kostylenko.o.a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;

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

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

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

9347740 Ростовская область, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3, e-mail: vniizk30@mail.ru

Представлена трехлетняя оценка образцов озимой твердой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» на различных предшественниках по следующим показателям: урожайность, содержание белка, клейковины, SDS-седиментации, стекловидность. Цель исследований – оценка урожайности и качества зерна перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы на различных предшественниках в условиях южной зоны Ростовской области. Материалом исследования послужили 12 образцов, посеянных по предшественникам: сидеральный пар, горох, кукуруза на зерно и подсолнечник. В качестве стандарта использовали сорт Кристелла. В результате проведенных исследований (2020–2022 гг.) установлено, что средняя урожайность зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы ранжировалась: сидеральный пар – 8,60 т/га; горох – 6,55 т/га; кукуруза на зерно – 6,38 т/га; подсолнечник – 4,57 т/га. Максимально средней урожайности по предшественникам показали два сорта озимой твердой пшеницы – Яхонт (6,98 т/га) и Лакомка (6,96 т/га). Содержание белка в зерне по предшественникам варьировало от 13,79 до 14,71%, что соответствовало первому классу качества, содержание клейковины – 25,7–27,8 % (2 класс). Выявлено, что 25 % образцов по всем четырем предшественникам имели очень сильную SDS-седиментацию, 67 % – сильную и 8 % – среднюю. По признаку «стекловидность» выделились следующие образцы: Кристелла (92 %); Яхонт и Алмаз Дона (87 %); Лакомка и 483/17 (85 %).

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, предшественник, качество зерна, сорт, линия, урожайность.

Для цитирования: Костыленко О. А., Иванисова А. С., Дубинина О. А., Кравченко Н. С. Реакция перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы по урожайности и некоторым признакам качества зерна на различные предшественники // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 12–18. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-12-18.



RESPONSE OF PROMISING WINTER DURUM WHEAT VARIETIES AND LINES ACCORDING TO PRODUCTIVITY AND SOME TRAITS OF GRAIN QUALITY TO VARIOUS FORECROPS

O. A. Kostylenko, agronomist of the laboratory for winter durum wheat breeding and seed production, kostylenko.o.a@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5060-0034;

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;

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

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

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

There has been presented a three-year estimation of winter durum wheat samples developed by the FSBSI “ARC “Donskoy” sown after various forecrops according to such indicators as productivity, protein and gluten content, SDS-sedimentation, grain hardness. The purpose of the study was to estimate productivity and grain quality of promising winter durum wheat varieties and lines sown after various forecrops in the conditions of the southern part of the Rostov region. The research material included 12 samples sown after peas, maize for grain and sunflower, and in green-manured fallow. The variety ‘Kristalla’ was used as a standard. As a study result (2020–2022), there was found that the mean grain productivity of winter durum wheat varieties and lines of was ranked as follows: 8.60 t/ha when sown in green-manured fallow; 6.55 t/ha when sown after peas; 6.38 t/ha when sown after maize for grain;

4.57 t/ha when sown after sunflower. The maximum mean productivity according to forecrops was shown by two winter durum wheat varieties 'Yakhont' (6.98 t/ha) and 'Lakomka' (6.96 t/ha). According to the forecrops, the protein percentage in grain varied from 13.79 to 14.71 %, which corresponded to the first quality class, the gluten content was 25.7–27.8 % (class 2). There has been revealed that 25 % of the samples had very strong SDS-sedimentation, 67 % had strong and 8 % had an average one. According to grain hardness, there have been identified such samples as 'Kristella' (92 %); 'Yakhont' and 'Almaz Dona' (87 %); 'Lakomka' and '483/17' (85 %).

Keywords: winter durum wheat, forecrop, grain quality, variety, line, productivity.

Введение. Значение твердой пшеницы общеизвестно. Благодаря высокостекловидному янтарно-желтого цвета зерну с повышенным содержанием белка и клейковины отличного качества она является единственным сырьем для изготовления высококачественных макаронных изделий, спагетти, характеризующихся высокой прочностью, низкой разваримостью, приятным вкусом. По питательной ценности и легкой усвояемости протеин в зерне твердой пшеницы приближается к белку молочного происхождения, что дает возможность получать качественные продукты для детского и диетического питания.

В макаронных изделиях из крупки твердой пшеницы содержатся питательные вещества – это витамины группы В, Е, РР, а также кальций, фосфор, железо, углеводы, клетчатка. Диетологи относят макароны к продуктам, снижающим риск сердечно-сосудистых заболеваний и обладающих наряду с томатами и соей противораковыми свойствами (Мудрова, 2014).

Урожайность и качество зерна озимой твердой пшеницы в значительной степени зависят от приемов технологии возделывания и условий среды. Одним из важных составляющих элементов технологии возделывания озимой твердой пшеницы является правильный выбор предшественника. От этого решения зависит получение высоких и устойчивых урожаев качественного зерна (Gromova et al., 2022).

Озимую твердую пшеницу необходимо размещать после таких предшественников, которые давали бы возможность своевременно и качественно подготовить почву, провести посев в оптимальные сроки и на этой основе обеспечить появление дружных всходов и хорошее развитие растений с осени (Малкандуев и др., 2022).

Цель исследований – оценка урожайности и качества зерна перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы на различных предшественниках в условиях южной зоны Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Материалом исследования послужили 10 перспективных сортов и 2 линии озимой твердой пшеницы, посеянных по предшественникам: сидеральный пар, кукуруза на зерно, горох и подсолнечник. Полевые опыты закладывали в 2020–2022 гг. на полях лаборатории селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области.

Посев озимой твердой пшеницы проводили сеялкой «Wintersteiger Plotseed S» с нормой высева 450 шт. всхожих семян на 1 м² по сидеральному пару и гороху, 550 шт. всхожих се-

мян на 1 м² по предшественникам подсолнечник и кукуруза на зерно. В качестве стандарта использовали сорт Кристелла. Уборку проводили комбайном «Wintersteiger Classic» в фазу полной спелости. Учетная площадь делянки – 10 м² в четырехкратной повторности, размещение делянок – систематическое, согласно Методике полевого опыта (Доспехову, 2014), а также по данной методике проводили математическую обработку данных.

В качестве сидерата по предшественнику сидеральный пар использовали культуру горчицу. Технологические приемы возделывания озимой твердой пшеницы осуществляли в соответствии с рекомендациями, изложенными в зональной системе земледелия Ростовской области (Бондаренко и др., 2012).

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый мощный с высокой карбонатностью (от 2,5 до 4,0 % СаСО₃). Содержание гумуса – 3,6–4,0 %; подвижного фосфора – 20–23 мг/кг; обменного калия – 300–380 мг/кг почвы (Кравченко и др., 2022).

Качество зерна сортов линий озимой твердой пшеницы определяли по ГОСТ: содержание белка в зерне по ГОСТ 10846-91; количество клейковины в зерне по ГОСТ Р 54478-2011; стекловидность по ГОСТ Р 70629-2023.

Показатель SDS-седиментации исследуемых образцов озимой твердой пшеницы определяли по величине осадка в соответствии с методикой, принятой в ФГБНУ «АНЦ «Донской». Показатель SDS-седиментации подразделяют на: 1) очень сильная: > 40 мл (5 баллов); 2) сильная: 39–35 мл (4 балла); 3) средняя: 34–30 мл (3 балла); 4) удовлетворительная: 29–25 мл (2 балла); 5) слабая: 24 и ниже (1 балл).

Погодные условия в годы проведения исследований (2020–2022 гг.) были характерны для зоны неустойчивого увлажнения с преимуществом засушливых периодов.

За 2019/2020 сельскохозяйственный год выпало 463,7 мм осадков при норме 582,4 мм, среднегодовая температура воздуха находилась в пределах 11,9 °С, превышение над среднимноголетними данными составило 2,3 °С. Выпавшие осадки во время налива зерна привели к снижению урожайности и качества зерна озимой твердой пшеницы.

За 2020/2021 сельскохозяйственный год выпало 569,2 мм осадков (97,7 % от среднемноголетней), среднегодовая температура воздуха составила 11,7 °С, превысив многолетний на 2,0 °С. Высокие температуры летнего периода положительно повлияли на качество зерна.

За 2021/2022 сельскохозяйственный год выпало 609,2 мм осадков (104,6 % от среднемноголетней), среднегодовая температура воздуха

составила 11,1 °С, превышение над среднепогодными данными 1,4 °С. В целом сложившиеся погодные условия за данный сельскохозяйственный год позволили сформировать максимальную урожайность за годы исследования (Ivanisova et al., 2023).

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований (2020–2022 гг.) установлено, что средняя урожайность зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы ранжировалась: сидеральный пар – 8,60 т/га; горох – 6,55 т/га; кукуруза на зерно – 6,38 т/га; подсолнечник – 4,57 т/га (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы на различных предшественниках, т/га (2020–2022 гг.)
Table 1. Productivity of promising winter durum wheat varieties and lines sown after various forecrops, t/ha (2020–2022)

Сорт	Урожайность, т/га				Среднее по предшественникам
	сидеральный пар	горох	кукуруза на зерно	подсолнечник	
Кристалла, st	8,65	6,91	6,26	4,96	6,70
Лакомка	9,16	6,83	6,84	5,01	6,96
Яхонт	8,98	7,35	6,97	4,63	6,98
Янтарина	8,96	6,77	6,53	4,53	6,70
Услава	8,93	6,73	6,35	4,97	6,75
Диона	8,54	6,61	6,23	4,32	6,43
Солнцедар	8,32	6,53	6,12	4,61	6,40
Юбилярка	8,23	6,46	5,93	4,19	6,20
Динас	7,94	5,72	6,21	4,37	6,06
Алмаз Дона	7,80	5,85	6,16	4,17	6,00
461/16	8,86	5,94	6,41	4,45	6,42
483/17	8,87	6,88	6,58	4,58	6,73
Среднее по опыту	8,60	6,55	6,38	4,57	–
НСР ₀₅	0,27	0,35	0,31	0,43	0,25

По предшественнику сидеральный пар достоверно превышение над стандартом Кристалла имели следующие сорта: Лакомка (0,51 т/га), Яхонт (0,33 т/га), Янтарина (0,31 т/га), Услава (0,28 т/га) при НСР₀₅ = 0,27 т/га. По предшественнику горох превысил стандарт только один сорт озимой твердой пшеницы – Яхонт (7,35 т/га) при НСР₀₅ = 0,35 т/га. По предшественнику кукуруза на зерно наблюдалась прибавка к стандарту у сортов Лакомка (6,84 т/га), Яхонт (6,97 т/га) и линии 483/17 (6,58 т/га) при НСР₀₅ = 0,31 т/га. По предше-

веннику подсолнечник у сортов и линий озимой твердой пшеницы достоверного превышения над стандартом Кристалла не отмечено.

Максимальную урожайность по изучаемым предшественникам в среднем за период исследований показали два сорта озимой твердой пшеницы – Яхонт (6,98 т/га) и Лакомка (6,96 т/га).

Рассматривая содержание белка и клейковины в зерне озимой твердой пшеницы на различных предшественниках, выявили, что самые высокие значения получены по предшественнику сидеральный пар (табл. 2).

Таблица 2. Содержание белка и клейковины в зерне сортов и линий озимой твердой пшеницы на различных предшественниках (2020–2022 гг.)
Table 2. Protein and gluten content in grain of winter durum wheat varieties and lines sown after various forecrops, % (2020–2022)

Сорт	Содержание белка, %					Содержание клейковины, %				
	сидеральный пар	горох	кукуруза на зерно	подсолнечник	среднее по предшественникам	сидеральный пар	горох	кукуруза на зерно	подсолнечник	среднее по предшественникам
Кристалла, st	15,29	14,93	13,29	14,72	14,56	28,2	27,5	22,0	28,1	26,5
Лакомка	14,64	14,09	13,06	13,38	13,79	28,9	27,5	22,7	25,3	26,1
Яхонт	15,48	14,83	13,50	14,05	14,47	28,4	28,3	23,6	27,2	26,9
Янтарина	14,88	14,62	13,28	15,10	14,47	30,3	28,0	24,5	28,5	27,8
Услава	14,67	14,34	13,80	13,56	14,09	27,7	26,9	23,9	25,9	26,1
Диона	15,13	15,00	14,14	13,85	14,53	27,7	27,3	23,6	25,8	26,1
Солнцедар	14,90	14,45	13,20	13,89	14,11	28,0	27,2	22,5	24,9	25,7
Юбилярка	15,09	14,23	13,46	13,84	14,16	28,4	27,7	23,7	26,3	26,5
Динас	15,03	14,78	14,20	14,05	14,52	29,9	29,1	26,2	25,7	27,7
Алмаз Дона	14,79	14,50	14,06	14,07	14,36	28,0	27,9	24,9	25,7	26,6
461/16	15,02	14,96	14,58	14,28	14,71	27,4	27,7	24,6	23,5	25,8
483/17	15,42	14,71	13,96	14,07	14,54	29,1	25,6	24,2	26,1	26,3
Среднее по опыту	15,03	14,62	13,71	14,07	14,36	28,5	27,5	23,9	26,1	26,5

Большая часть представленных в таблице изучаемых образцов по содержанию белка в зерне озимой твердой пшеницы на изучаемых предшественниках относилась к первому классу качества зерна (13,50 % и более) согласно ГОСТ 9353-2016. Второму классу (12,50–13,49 %) соответствовали следующие сорта по предшественникам: кукуруза на зерно – Кристелла (13,28 %), Лакомка (13,06%), Янтарина (13,28 %), Солнцедар (13,20 %), Юбилярка (13,46 %); подсолнечник – Лакомка (13,38 %).

Средние значения по предшественникам варьировали от 13,79 до 14,71 %, то есть содержание белка в зерне у сортов и линий озимой твердой пшеницы за изучаемый период соответствовало первому классу качества.

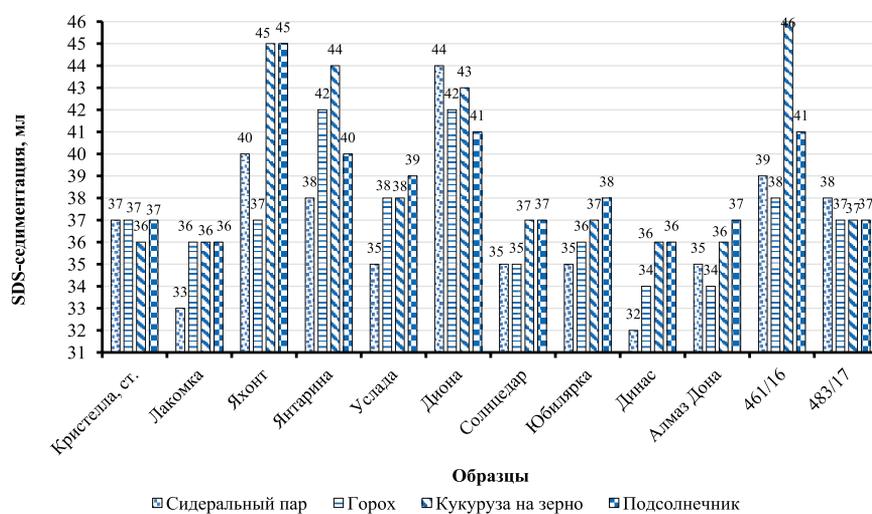
По содержанию белка в зерне озимой твердой пшеницы на четырех предшественниках выделили следующие сорта и линии: Яхонт (13,50–15,48 %), Услада (13,56–14,67%), Диона (13,85–15,13 %), Динас (14,05–15,03 %), Алмаз Дона (14,06–14,79 %), 461/16 (14,28–15,02 %) и 483/17 (13,96–15,42 %).

Согласно ГОСТ 9353-2016 к первому классу (28,0 % и более) по содержанию клейковины в зерне относились следующие образцы озимой твердой пшеницы по предшественникам:

сидеральный пар – Кристелла (28,2 %), Лакомка (28,9%), Яхонт (28,4 %), Янтарина (30,3 %), Солнцедар (28,0 %), Юбилярка (28,4 %), Динас (29,9 %), Алмаз Дона (28,0 %), 438/17 (29,1 %); горох – Яхонт (28,3 %), Янтарина (28,0 %), Динас (29,1 %); подсолнечник – Кристелла (28,1 %), Янтарина (28,5 %). По предшественнику кукуруза на зерно по содержанию клейковины в зерне выделили сорт Динас (26,2 %) – соответствовал второму классу (25,0–27,9 %), остальные образцы имели третий класс (22,0–24,9 %). Средние значения признака по различным предшественникам варьировали от 25,7 до 27,8 %, что соответствовало второму классу качества озимой твердой пшеницы.

Показатель SDS-седиментации относится к одному из наиболее информативных селекционных признаков и является косвенным показателем количества белка и клейковины в зерне (Копусь и др., 2022; Kibkalo, 2022).

Проанализировав усредненные значения (2020–2022 гг.) образцов озимой твердой пшеницы по SDS-седиментации, выявили, что стандартный сорт Кристелла имеет 36 мл по предшественнику кукуруза на зерно, а по остальным предшественникам – 37 мл, эти значения относятся к сильной группе – 4 балла (см. рис.).



Величина SDS-седиментации у сортов и линий озимой твердой пшеницы на различных предшественниках, мл (2020–2022 гг.)
The value of SDS-sedimentation in winter durum wheat varieties and lines sown after various forecrops, ml (2020–2022)

По предшественнику сидеральный пар отмечена очень сильная (5 баллов) SDS-седиментация у сортов Яхонт (40 мл) и Диона (44 мл). У остальных сортов озимой твердой пшеницы по данному предшественнику значения признака соответствовали сильной группе (4 балла), кроме двух сортов: Лакомка (33 мл) и Динас (32 мл) – средняя группа (3 балла). По предшественнику горох очень сильная SDS-седиментация у сортов Янтарина и Диона (42 мл) – 5 баллов, остальные образцы соответствовали сильной группе (4 балла), кроме двух сортов: Динас и Алмаз Дона (34 мл) – средняя

группа (3 балла). По предшественникам кукуруза на зерно и подсолнечник отмечена очень сильная (5 баллов) SDS-седиментация у следующих сортов: Яхонт, Янтарина, Диона и линия 461/16 (от 46 до 40 мл). Максимальное значение наблюдалось у линии 461/16 (46 мл) по предшественнику кукуруза на зерно. У остальных исследуемых сортов озимой твердой пшеницы значения изучаемого признака относились к сильной группе (4 балла).

По показателю SDS-седиментации в зерне озимой твердой пшеницы на изучаемых предшественниках выделены следующие сорта:

Яхонт (45–37 мл), Янтарина (44–38 мл), Диона (44–41 мл) и линия 461/16 (46–38 мл).

Стекловидность зерна – показатель, характеризующий консистенцию эндосперма. Это сортовой признак, при одном и том же содержании белка один сорт может характеризоваться более высокой стекловидностью, другой – менее высокой (Иванисова и др., 2022; Иванисов и др., 2023).

В результате анализа установлено, что стандартный сорт Кристелла по показателю «стекловидность зерна озимой твердой пшеницы» имел максимальные значения по всем предшественникам: сидеральный пар – 89 %, горох – 95 %, кукуруза на зерно – 96 % и подсолнечник – 86 %, что соответствовало 1–2 классу согласно ГОСТ Р 9353-2016 (табл. 3).

Таблица 3. Стекловидность зерна сортов и линий озимой твердой пшеницы на различных предшественниках (2020–2022 гг.)
Table 3. Grain hardness of winter durum wheat varieties and lines after various forecrops (2020–2022)

Сорт	Стекловидность, %				
	сидеральный пар	горох	кукуруза на зерно	подсолнечник	среднее по предшественникам
Кристелла, st	89	95	96	86	92
Лакомка	85	93	84	76	85
Яхонт	85	88	92	81	87
Янтарина	81	87	90	71	82
Услада	77	85	82	75	80
Диона	79	84	88	83	84
Солнцедар	79	83	82	79	81
Юбилярка	84	90	78	82	84
Динас	83	85	89	76	83
Алмаз Дона	84	92	90	82	87
461/16	71	87	79	69	77
483/17	84	88	91	76	85
Среднее по опыту	82	88	86	78	84

По предшественнику сидеральный пар показатель «стекловидность зерна» соответствовал 1–2 классу у сортов Кристелла (89 %), Лакомка и Яхонт (85 %), следующие 9 образцов – 3 классу. В годы проведения исследований горох являлся наилучшим предшественником для показателя «стекловидность», к 1–2 классу относились 10 образцов (85–95 %), а два сорта – Диона (84 %) и Солнцедар (83 %) – к 3 классу. По предшественнику кукуруза на зерно выделены 7 образцов с 1–2 классом: Кристелла (96 %), Яхонт (92 %), Янтарина (90 %), Диона (88 %), Динас (89 %), Алмаз Дона (90 %), 483/17 (91 %), остальные 5 образцов относились к 3 классу. По предшественнику подсолнечник показатель «стекловидность зерна озимой твердой пшеницы» соответствовал 1–2 классу у одного сорта – Кристелла (86 %). В среднем по предшественникам выделили следующие сорта и линии: Кристелла (92 %); Яхонт и Алмаз Дона (87 %); Лакомка и 483/17 (85 %).

Выводы. В результате проведенных исследований было выявлено, что значения урожайности и качества зерна перспективных сортов и линий озимой твердой пшеницы существенно зависели от различных предшественников.

Средняя урожайность зерна ранжировалась: сидеральный пар – 8,60 т/га; горох – 6,55 т/га; кукуруза на зерно – 6,38 т/га; подсолнечник – 4,57 т/га. По всем предшественникам выделились два сорта: Яхонт (6,98 т/га) и Лакомка (6,96 т/га).

В среднем по предшественникам за годы изучения (2020–2022 гг.) перспективные сорта и линии озимой твердой пшеницы соответствовали первому и второму классу качества зерна: содержание белка – 14,36 %, содержание клейковины – 26,5 %, SDS-седиментация – 38 мл, стекловидность – 84 %.

Лучшими по качеству зерна оказались следующие сорта и линии озимой твердой пшеницы: Кристелла, Яхонт, Янтарина, Диона, 461/16 и 483/17.

Библиографические ссылки

1. Бондаренко С. Г., Горбаченко Ф. И., Горячев В. П., Гринько А. В., Егорова О. В., Каптулев С. И., Костылев П. И., Кравченко А. Н., Лабынцев А. В., Пасько С. В., Пахомов В. И., Рыков В. Б., Фетюхин И. В., Целуйко О. А., Шурупов В. Г. Зональные системы земледелия Ростовской области (на период 2013–2020 гг.) / Под общ. ред. В. Н. Василенко. Ростов н/Д.: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области, 2012. Ч. 2. 243 с.
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. 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.

4. 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
5. Копусь М. М., Кравченко Н. С., Алты-Садых Ю. Н., Иванисов М. М., Самофалов А. П. Урожайность и SDS-седиментация перспективных сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от предшественников // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 5. С. 47–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-47-51
6. 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
7. Малкандуев Х. А., Шамурзаев Р. И., Малкандуева А. Х. Формирование урожая и качества зерна сортов озимой пшеницы в зависимости от предшественников и условий возделывания // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 3(107). С. 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50
8. Мудрова, А. А. Селекция озимой твердой пшеницы на Кубани. Краснодар: КНИИСХ, 2014. 190 с.
9. Gromova S. N., Skripka O. V., Podgorny S. V., Kravchenko N. S. Estimation of productivity, grain, and flour quality of the winter common wheat varieties when sown after peas in the south of the Rostov region // Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security. 2022. Vol 372, С. 19–26. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_3
10. Ivanisova A., Marchenko D., Kostylenko O., Dubinina O., Antonenko L. Studying varieties of winter durum wheat in interstation test on economic and valuable features // E3S Web of Conferences: XVI International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH, Rostov n/D., 2023. Vol. 413, Article number: 01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301007
11. 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

References

1. Bondarenko S. G., Gorbachenko F. I., Goryachev V. P., Grin'ko A. V., Egorova O. V., Kaptulev S. I., Kostylev P. I., Kravchenko A. N., Labyntsev A. V., Pas'ko S. V., Pakhomov V. I., Rykov V. B., Fetyukhin I. V., Tseluiko O. A., Shurupov V. G. Zonal'nye sistemy zemledeliya Rostovskoi oblasti (na period 2013–2020 gg.) [Zonal farming systems of the Rostov region (for the period 2013–2020)] / pod obshch. red. V. N. Vasilenko. Rostov n/D.: Ministerstvo sel'skogo khozyaistva i prodovol'stviya Rostovskoi oblasti, 2012. Ch. 2. 243 s.
2. Dospikhov, 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. 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.
4. Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kravchenko N. S., Kopus' M. M. Izuchenie pokazatelei kachestva sovremennykh sortov ozimoi pshenitsy seleksii FGBNU «ANTs «Donskoi» [Study of quality indicators of modern winter wheat varieties developed by the FSBSI ARC "Donskoy"] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. Т. 15, № 1 С. 35–41. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-35-41
5. Kopus' M. M., Kravchenko N. S., Alty-Sadykh Yu. N., Ivanisov M. M., Samofalov A. P. Urozhainost' i SDS-sedimentatsiya perspektivnykh sortov ozimoi myagkoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov [Productivity and SDS-sedimentation of promising winter common wheat varieties depending on their forecrops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. Т. 14, № 5. С. 47–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-47-51
6. 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 common wheat varieties depending on the forecrop] // Agrarnaya nauka. 2022. № 7–8. С. 146–151. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-146-151
7. Malkanduev Kh. A., Shamurzaev R. I., Malkandueva A. Kh. Formirovanie urozhaya i kachestva zerna sortov ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot predshestvennikov i uslovii vzdelyvaniya [Formation of productivity and grain quality of winter wheat varieties depending on forecrops and cultivation conditions] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2022. №3(107). С. 40–50. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-3-107-40-50
8. Мудрова, А. А. Селекция озимой твердой пшеницы на Кубани. Краснодар [Winter durum wheat breeding in Kuban]: KNIISKH, 2014. 190 с.
9. Gromova S. N., Skripka O. V., Podgorny S. V., Kravchenko N. S. Estimation of productivity, grain, and flour quality of the winter common wheat varieties when sown after peas in the south of the Rostov region // Towards an Increased Security: Green Innovations, Intellectual Property Protection and Information Security. 2022. Vol 372, С. 19–26. DOI: 10.1007/978-3-030-93155-1_3
10. Ivanisova A., Marchenko D., Kostylenko O., Dubinina O., Antonenko L. Studying varieties of winter durum wheat in interstation test on economic and valuable features // E3S Web of Conferences: XVI International Scientific and Practical Conference "State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH, Rostov-on-Don, 2023. Vol. 413, Article number: 01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301007

11. 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

Поступила: 28.07.23; доработана после рецензирования: 30.10.23; принята к публикации: 08.11.23.

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. Костыленко О.А. – концептуализация исследования; Иванисова А.С., Дубинина О.А. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных; Кравченко Н.С. – выполнение лабораторных опытов, анализ данных и их интерпретация; Костыленко О.А. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАСЫЩЕННОСТИ РАСТВОРА САХАРОЗЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ СОРТОВ ЛЮЦЕРНЫ В УСЛОВИЯХ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Т.Н. Попова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции люцерны, tat.sel.alfalfa@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4387-538X
«Ершовская ОСОЗ – филиал ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока»,
413503, Саратовская обл., г. Ершов, п. Тулайково, ул. Центральная, д. 14 А

Для нормального роста и развития люцерны необходима высокая обеспеченность влагой. Максимально стабильная кормовая продуктивность получается на орошаемых и пойменных землях. В то же время избыток воды может оказать и отрицательное влияние (в особенности на урожай семян). Семена люцерны способны поглощать большое количество воды – не меньше веса их сухого вещества. При недостатке почвенной влаги, низкой температуре почвы и глубокой заделке семян появление всходов замедляется. Основная цель – анализ влияния раствора сахарозы различной насыщенности на всхожесть семян и определение нужной насыщенности, которую лучше всего использовать для оценки относительной засухоустойчивости сортов люцерны в условиях осмотического стресса. Работа проведена в «Ершовской ОСОЗ – филиале ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в 2021–2022 годах. Опытным путем рассмотрено влияние разной насыщенности раствора на всхожесть семян люцерны сортов Артемиды, Узень, Виринея, Натали и Сирена. В результате исследования выявлено, что в зависимости от сортов и насыщенности раствора прорастание семян варьировало от 4 до 100 %. Сорт Узень показал максимальную всхожесть семян – 75,2 % и минимальное снижение всхожести при повышении осмотического давления относительно других сортов. При самой высокой насыщенности раствора сахарозы (16,6 %) лучшие показатели были у сортов Виринея и Артемиды. В нашем опыте выявлено, что для определения относительной засухоустойчивости сортов люцерны наиболее эффективно использовать растворы сахарозы с концентрацией 7,4 и 16,6 % для более достоверного результата работы.

Ключевые слова: люцерна, сорт, всхожесть, засухоустойчивость, насыщенность, сахароза.

Для цитирования: Попова Т.Н. Определение насыщенности раствора сахарозы для оценки засухоустойчивости сортов люцерны в условиях Саратовского Заволжья // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 19–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-19-23.



ESTIMATION OF SUCROSE SOLUTION SATURATION TO ASSESS THE DROUGHT RESISTANCE OF ALFALFA VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE SARATOV TRANS-VOLGA REGION

T. N. Popova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for alfalfa breeding, tat.sel.alfalfa@yandex.ru, ORCID ID 0000-0002-4387-538X
Ershovskaya ESIA – the branch of the FSBSI FARC of the South-East,
413503, Saratov region, Ershov, v. of Tulaykovo, Tsentralnaya Str., 14 A

For normal alfalfa growth and development, a high supply of moisture is of great importance. The most stable fodder productivity is obtained on irrigated and floodplain lands. Though, water excess can also have a negative effect, especially on seed productivity. Alfalfa seeds can absorb large amounts of water, no less than their dry matter weight. Under a soil moisture shortage, low soil temperature and deep seeding, sprout emergence slows down. The main purpose of the current work was to analyze the effect of sucrose solutions of various saturations on seed germination and determine the desired saturation, which would be best used to estimate the relative drought resistance of alfalfa varieties under conditions of osmotic stress. The work was carried out at the “Ershovskaya ESIA, the branch of the FSBSI FARC of the South-East” in 2021–2022. There has been conducted trials to consider the effect of different solution saturations on the germination of alfalfa seeds of the varieties ‘Artemida’, ‘Yuzen’, ‘Virineya’, ‘Natali’ and ‘Sirena’. As a result of the study, there was shown that, depending on the varieties and saturation of the solution, seed germination varied from 4 to 100 %. The variety ‘Yuzen’ showed maximum seed germination of 75.2 % and a minimal decrease in germination with increasing osmotic pressure relative to other varieties. At the highest sucrose solution saturation (16.6 %), the best figures were produced by the varieties ‘Artemida’ and ‘Virineya’. Our trial has identified that to determine the relative drought resistance of alfalfa varieties, it was most effective to use sucrose solutions with a concentration of 7.4 and 16.6% for a more reliable result.

Keywords: alfalfa, variety, germination, drought resistance, saturation, sucrose.

Введение. Отрицательное влияние на урожай растений оказывают такие стрессовые факторы, как засуха, жара, холод и другие неблагоприятные условия окружающей среды. Все это приводит к значительным потерям урожая сельскохозяйственных культур и приносит заметный ущерб агропромышленному комплек-

су. В настоящее время внедрение в производство засухоустойчивых сортов является одним из главных способов борьбы с засухой.

Под засухоустойчивостью сорта принято понимать способность растений при относительно небольшом количестве почвенной и воздушной влаги давать максимально высо-

кие показатели урожайности с хорошим их качеством. Засухоустойчивость – явление очень сложное и зависящее от комплекса факторов, именно поэтому задача селекционера состоит в том, чтобы вывести сорта, которые обладали бы всем спектром этих факторов, определяющих засухоустойчивость.

Люцерне необходимо большое количество влаги. Для получения 1 кг продукции расходуется 643–771 кг воды, что практически в 2 раза больше, чем для клевера и зерновых. Транспирационный коэффициент люцерны довольно высокий и зависит от условий произрастания. (Жаринов и Ключ, 1990). Несмотря на это, люцерна считается довольно засухоустойчивым растением, так как обладает мощной корневой системой, которая способна проникать в глубокие слои почвы и имеет меньшую испаряемость через листья (Попова, 2022).

Люцерна, будучи требовательной к почвенной влаге, весьма устойчива к атмосферной засухе. Урожай зеленой массы и сена зависит от обеспеченности почвенной влагой. При возделывании люцерны на семена излишняя влажность ведет к снижению урожая семян (Епифанова и Тимошкин, 2018).

Характерной особенностью Заволжья является резко континентальный климат. Атмосферные осадки выпадают неравномерно, поэтому засуха бывает как краткосрочной (рано весной, в начале, середине, конце лета, осенью), так и долгосрочной, часто сочетаясь с жарой и суховеями.

В предыдущих проведенных нами работах (2014 г.) отмечена значительная связь между урожаем зеленой массы люцерны и суммой осадков за период апрель–август в годы укоса, а также за период ноябрь–август (коэффициент корреляции составил 0,55 и 0,57 соответственно, связь значимая положительная). Установлена также отрицательная незначимая связь между урожайностью семян и количеством осадков за период цветение – плодобразование (коэффициент корреляции равнялся – 0,23). Определенная нами отрицательная реакция современных сортов люцерны на увеличение дефицита воды указывает на актуальность селекции этой культуры на повышение к абиотическим стрессорам или засухоустойчивости (Lindenmayer et al., 2011).

Для сокращения селекционного процесса определение относительной засухоустойчивости проводят с помощью лабораторных физиологических методов оценки (Газе и др., 2018). К прямым методам относится полевая оценка степени снижения урожая одних сортов в сравнении со стандартами и другими засухоустойчивыми сортами в засушливые годы. Для такой оценки специальные опыты не закладываются. К второстепенным способам оценки засухоустойчивости относится метод проращивания семян на растворах сахарозы с разными насыщенностями (то есть с повышением осмотического давления). Сорта, которые

дали хорошие всходы и развили крепкую первичную корневую систему в условиях осмотического стресса, в дальнейшем могут показать высокую засухоустойчивость в естественных полевых условиях (Кожушко, 1988; Парфенова и др., 2018). Данный метод помогает выделить перспективный генетический материал с устойчивостью к засухе на первичных этапах органогенеза. Насыщенность раствора должна быть такой, чтобы разница в устойчивости изучаемых сортов имела наибольшее отклонение друг от друга (Костылев и др., 2020; Кокина и др., 2018). Правильно подобранная насыщенность дает гарантию для более точного представления об относительной засухоустойчивости растений (Marthandan et al., 2020).

Цель исследования: анализ влияния раствора сахарозы различной насыщенности на всхожесть семян и определение нужной концентрации, которую лучше всего использовать для оценки относительной засухоустойчивости сортов люцерны.

Материалы и методы исследований. Опыты проводили в лаборатории селекции и семеноводства люцерны «Ершовской ОСОЗ – филиала ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» в 2021–2022 годах. Для изучения и оценки засухоустойчивости 5 сортов люцерны синей селекции Ершовской ОСОЗ.

Для исследования по оценке засухоустойчивости использовали методику Н. Н. Кожушко. В данной методике не представлена информация о концентрациях раствора, применяемых на люцерне. В работе автором был использован термин «насыщенность раствора» и для проведения опыта взяты следующие насыщенности – 1,4; 4,4; 7,4; 10,5 и 16,6 %.

Повторность опыта двукратная. Количество семян в каждой повторности – 50 шт., опыты закладывали в чашках Петри на фильтровальной бумаге.

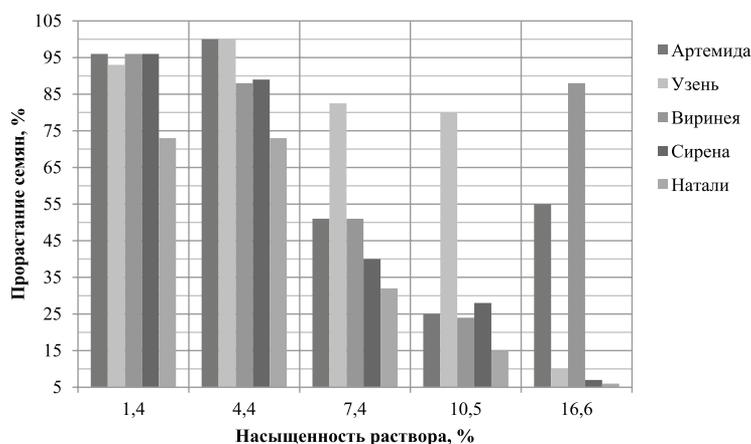
В каждой повторности опыта в чашки Петри добавляли растворы сахарозы с насыщенностью 1,4; 4,4; 7,4; 10,5 и 16,6 %, при которых создавалось осмотическое давление 3, 6, 9, 12 и 18 атмосфер (атм.) соответственно. Контрольный вариант проращивали с добавлением дистиллированной воды. По истечении 7 дней опыта проводили подсчет всхожести семян (В, %). Для расчета считали количество проросших семян, затем среднее количество проросших семян в растворе сахарозы (с) выражали в процентах от числа семян, проросших в контроле (к), то есть $V = (с/к) \times 100$ %. Установлено, что чем больше всхожесть семян в растворе сахарозы, тем более засухоустойчивы сорта (Парфенова и др., 2018).

Показатель силы влияния фактора рассчитывали по формуле $\eta_x^2 = (\text{сумма квадратов отклонения факториальная} / \text{сумма квадратов общая}) \times 100$ %. Он оценивает относительную долю влияния изучаемого фактора в общем суммарном статистическом влиянии всех факторов, определяющих развития данного результативного признака.

Результаты и их обсуждение. Для начала мы определили общую полевую засухоустойчивость. Ее определяли по степени снижения урожайности в засушливый год в сравнении с благоприятным годом. Для оценки использовали индекс засухоустойчивости Р. Фишера по формуле $S = (1 - Y_d/Y_p) / D$, где S – индекс засухоустойчивости; Y_d – урожайность при засухе; Y_p – потенциальная урожайность; $D = 1$ (средний Y_d всех генотипов / средний Y_p всех генотипов). Годы для расчета: 2020 г. – засухоустойчивый, 2022 г. – благоприятный. По кормовой продуктивности наиболее высокий ин-

декс был у сорта Сирена – $S = 0,43$, по семенам выделились сорта Натали и Виринея – $S = 0,64$ и $0,66$ соответственно.

По итогам проведенной работы по проращиванию семян сортов люцерны при различной насыщенности раствора сахарозы получено, что в зависимости от условий и сортов всхожесть семян менялась от 4 до 100 %. Практически у всех сортов процент всхожести семян снижался при увеличении насыщенности раствора сахарозы и при повышении осмотического давления (см. рис.).



Всхожесть семян люцерны при разной насыщенности раствора сахарозы, %
Alfalfa seed germination under different sucrose solution saturation, %

Двухфакторный дисперсионный анализ показал наличие статистически значимых различий в опыте по всем компонентам (табл. 1).

В наибольшей мере фактор В (сорт) влиял на процент всхожести семян, так как сила влия-

ния составила 58,06 %, тогда как силы влияния взаимодействия факторов и насыщенность раствора сахарозы составили 14,77 и 25,38 % соответственно.

Таблица 1. Показатели двухфакторного дисперсионного анализа
Table 1. Indicators of the two-factor analysis of variance

Дисперсия	Сумма квадратов отклонения	Степени свободы	Средний квадрат	$F_{\text{факт.}}$	HCP_{05}	Сила влияния фактора η_x^2 (%)
Общая	56168,727	49	–	–	–	–
Блоки	1,280	1	1,28	0,03	–	–
Варианты	55159,727	24	2298,322	54,737*	13,348	–
Насыщенность раствора сахарозы (А)	8294,119	4	2073,530	49,383*	5,97	14,77
Сорт (В)	32612,318	4	8153,080	194,175*	5,97	58,06
АВ	14253,289	16	890,831	21,216*	13,348	25,38
Остаток	1007,72	24	41,988	–	–	1,79

Дисперсионный анализ по каждой концентрации отдельно выявил, что наибольшее изменение показателя всхожести было при насыщенности раствора сахарозы 16,6 %, создающей осмотическое давление 18 атм.

При этом отмечены статистически значимые различия: $F_{\text{факт.}} = 239,98^*$, $HCP_{05} = 9,35$; максимальный показатель вариации признака ($R = 88$ %); показатель стандартного отклонения равнялся $S_x = 2,38$ % (табл. 2).

Таблица 2. Дисперсионный анализ данных при различных концентрациях раствора сахарозы
Table 2. Analysis of variance of data under a various sucrose solution concentration

Концентрация раствора сахарозы, %	$X_{\text{ср}}$	R	S_x	$F_{\text{факт.}}$	HCP_{05}
1,4	90,5	33	5,86	3,01	–
4,4	89,9	29	1,66	46,47*	6,51
7,4	53,1	65	5,26	19,89*	20,65
10,5	34,3	73	4,50	33,33*	17,67
16,6	33,0	88	2,38	239,98*	9,35
Среднее по опыту	60,2	57,6	9,45	2,29	–

Примечание. * – статистически значимые различия.

Всхожесть семян при насыщенности 7,4 % (9 атм.) также имела статистически значимые различия $F_{\text{факт.}} = 19,89^*$, $НСР_{05} = 20,65$ и был отмечен максимальный показатель стандартного отклонения ($S_x = 5,26\%$). При анализе данных был сделан предварительный вывод, что при оценке относительной засухоустойчивости сортов люцерны наиболее эффективно использовать растворы сахарозы насыщенностью 7,4 и 16,6 % (9 и 18 атм.).

Сорт Узень показал максимальную всхожесть – 75,2 % (среднее значение по всем насыщенностям) и минимальное снижение всхожести при повышении осмотического давления относительно других образцов. Самый низкий показатель по прорастанию семян в среднем по всем концентрациям был у сорта Натали – 39,8 %.

Наше исследование позволило выделить две насыщенности сахарозы, при которых наиболее верно можно выделить наилучшие образцы по относительной засухоустойчивости. Для выводов по засухоустойчивости сортов мы возьмем самую высокую насыщенность –

16,6 %. Самая высокая всхожесть семян оказалась у сорта Виринея – 88 % и у сорта Артемида – 55 %. Минимальная всхожесть была у сортов Натали и Сирена (6 и 7 % соответственно).

Выводы. Таким образом, проведенный лабораторный опыт проращивания семян люцерны при различных насыщенностях раствора сахарозы показал нам относительно ясную картину устойчивости сортов к засухе. Установлено, что при увеличении насыщенности раствора отмечается снижение всхожести семян люцерны. Выявлены наиболее оптимальные насыщенности для оценки засухоустойчивости – это 7,4 и 16,6 % (8 и 16 атм.). При них установлены максимальные показатели вариации признака и стандартного отклонения (88 и 5,26 %). При наивысшем осмотическом давлении 18 атм. (насыщенность 16,6 %) наибольшую всхожесть показали сорта Виринея (88 %) и Артемида (55 %). В последующих наших исследованиях оценки засухоустойчивости сортов люцерны будут использоваться растворы сахарозы насыщенностью 7,4 и 16,6 %.

Библиографические ссылки

- Газе В. Л., Лиховидова В. А., Ионова Е. В. Определение уровня засухоустойчивости образцов озимой мягкой пшеницы прямым и косвенными методами // Зерновое хозяйство России. 2018. № 2. С. 25–29. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-56-2-25-28
- Жаринов В. И., Ключ В. С. Люцерна. Киев: Урожай, 1990. 320 с.
- Епифанова И. В., Тимошкин О. А. Оценка образцов люцерны на засухоустойчивость в условиях Среднего Поволжья // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 4. С. 48–51. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-14062
- Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям / Методическое руководство. Ленинград: ВИР, 1988. С. 10–24.
- Кокина Л. П., Щенникова И. Н., Зайцева И. Ю. Оценка коллекционных образцов ячменя на устойчивость к осмотическому стрессу // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 66, № 5. С. 40–44. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.40-44
- Костылев П. И., Краснова Е. В., Аксенов А. В. Оценка засухоустойчивости образцов риса по изменению урожайности при нехватке влаги // Аграрная наука. 2020. № 11–12. С. 56–59. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-343-11-56-59
- Парфенова Е. С., Шамова М. Г., Псарева Е. А. Оценка относительной засухоустойчивости сортов озимой ржи способом проращивания на растворе сахарозы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11. С. 347–351. DOI: 10.17513/mjpf.12503
- Попова, Т. Н. Анализ перспективных популяций люцерны по кормовой продуктивности в условиях Заволжья Саратовской области // Зерновое хозяйство. Т. 14, № 4. 2022. С. 5–8. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-5-8
- Lindenmayer R. B., Hansen N. C., Brummer J., Pritchett J. G. Deficit Irrigation of Alfalfa for Water-Savings in the Great Plains and Intermountain West: A Review and Analysis of the Literature // Agronomy Journal. 2011. Vol. 103, Article number: 45.
- Marthandan V., Geetha R., Kumutha K., Renganathan VG., Karthikeyan A., Ramalingam J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21(21), Article number: 8258. DOI: 10.3390/ijms20133137

References

- Gaze V. L., Likhovidova V. A., Ionova E. V. Opredelenie urovnya zasukhoustoichivosti obraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy pryamym i kosvennymi metodami [Estimation of the drought resistance level of winter bread wheat samples by direct and indirect methods] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 2. S. 25–29. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-56-2-25-28
- Zharinov V. I., Klyui V. S. Lyutserna [Alfalfa]. Kiev: Urozhai, 1990. 320 s.
- Epifanova I. V., Timoshkin O. A. Otsenka obraztsov lyutserny na zasukhoustoichivost' v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Estimation of alfalfa samples for drought resistance in the conditions of the Middle Volga region] // Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal. 2018. № 4. S. 48–51. DOI: 10.24411/2587-6740-2018-14062
- Kozhushko, N. N. Otsenka zasukhoustoichivosti polevykh kull'tur. Diagnostika ustoichivosti rastenii k stressovym vozddeistviyam [Estimation of drought resistance of field crops. Diagnostics of plant resistance to stress effects] / Metodicheskoe rukovodstvo. Leningrad: VIR, 1988. S. 10–24.
- Kokina L. P., Shchennikova I. N., Zaitseva I. Yu. Otsenka kollektсионnykh obraztsov yachmenya na ustoichivost' k osmoticheskomu stressu [Estimation of collection barley samples

for resistance to osmotic stress] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2018. Т. 66, № 5. S. 40–44. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.66.5.40-44

6. Kostylev P.I., Krasnova E.V., Aksenov A.V. Otsenka zasukhoustoichivosti obratsov risa po izmeneniyu urozhainosti pri nekhvatki vlagi [Estimation of drought resistance of rice samples based on productivity changes under moisture stress] // *Agrarnaya nauka*. 2020. № 11–12. S. 56–59. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-343-11-56-59

7. Parfenova E. S., Shamova M. G., Psareva E. A. Otsenka otnositel'noi zasukhoustoichivosti sortov ozimoi rzhii sposobom prorashchivaniya na rastvore sakharozy [Estimation of the relative drought resistance of winter rye varieties by germination in a sucrose solution] // *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2018. № 11. S. 347–351. DOI: 10.17513/mjpf.12503

8. Popova, T. N. Analiz perspektivnykh populyatsii lyutserny po kormovoi produktivnosti v usloviyakh Zavolzh'ya Saratovskoi oblasti [Analysis of promising alfalfa populations according to feed productivity in the conditions of the Volga region of the Saratov region] // *Zernovoe khozyaistvo*. Т. 14, № 4. 2022. S. 5–8. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-5-8

9. Lindenmayer R. B., Hansen N. C., Brummer J., Pritchett J. G. Deficit Irrigation of Alfalfa for Water-Savings in the Great Plains and Intermountain West: A Review and Analysis of the Literature // *Agronomy Journal*. 2011. Vol. 103, Article number: 45.

10. Marthandan V., Geetha R., Kumutha K., Renganathan V.G., Karthikeyan A., Ramalingam J. Seed Priming: A Feasible Strategy to Enhance Drought Tolerance in Crop Plants // *International Journal of Molecular Sciences*. 2020. Vol. 21(21), Article number: 8258. DOI: 10.3390/ijms20133137

Поступила: 05.05.23; доработана после рецензирования: 11.09.23; принята к публикации: 22.09.23.

Критерии авторства. Автор статьи подтверждает, что имеет на статью права и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Попова Т. Н. – исследования, анализ и написание статьи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОСТИ ОБРАЗЦОВ ГОРОХА С РАЗНЫМ ТИПОМ ЛИСТА

А. Р. Ашиев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;

К. Н. Хабибуллин, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;

М. В. Скулова, агроном лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, povolotskaya68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703

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

Цель исследований – выделение продуктивных коллекционных образцов с высокими адаптивными свойствами для использования их в селекции гороха. Исследования проводили в ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в южной зоне Ростовской области. Объектами исследований служили 100 коллекционных образцов гороха посевного коллекции ВИГРП им. Н.И. Вавилова, из которых 47 образцов с обычным (листочковым) и 53 образца с усатым (безлисточковым) типом листа. В качестве стандарта использовали сорт Аксайский усатый 5. Годы исследований, различающиеся по агроклиматическим условиям в вегетационный период, позволили оценить коллекционные образцы по адаптивным свойствам. Средняя урожайность по коллекции за годы исследований составила 2,10 т/га (1,58–3,25 т/га). Урожайность семян в группе образцов с усатым типом листа (2,10 т/га) была на уровне с листочковыми образцами (2,09 т/га). При этом коэффициент вариации был ниже в группе усатых образцов – 12,4 %, чем листочковых – 13,0 %. Урожайность семян стандартного сорта Аксайский усатый 5 за годы исследований составила 2,00 т/га с вариацией от 1,42 до 3,30 т/га. Из листочковых образцов наиболее продуктивными оказались ОМК-3 (2,46 т/га), 221/73 (2,55 т/га), 269/80 (2,67 т/га), 525/80 (2,68 т/га), Благодатный (2,77 т/га). Из образцов с усатым типом листа таковыми оказались Рамус (2,45 т/га), Светозар (2,52 т/га), Лавр (2,55 т/га), Корал (2,56 т/га), Девиз (2,62 т/га). Наибольшие значения гомеостатичности с высокой семенной продуктивностью отмечены у образцов с обычным листом: Благодатный (4,14) и 525/80 (5,23). А у безлисточковых образцов выделились Девиз (7,57) и Корал (7,60). Результаты проведенных исследований на гомеостатичность урожайности семян образцов гороха использованы в селекционной работе при подборе родительских форм для гибридизации.

Ключевые слова: коллекция, горох, урожайность, сорт, вариабельность, гомеостатичность.

Для цитирования: Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В. Оценка параметров адаптивности образцов гороха с разным типом листа // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 24–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-24-28.



ESTIMATION OF PEA SAMPLES WITH DIFFERENT LEAF TYPES ACCORDING TO ADAPTABILITY PARAMETER

A. R. Ashiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, arkady.ashiev@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2101-2321;

K. N. Khabibullin, junior researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649

M. V. Skulova, agronomist of the laboratory for legumes breeding and seed production, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703

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

The purpose of the current study was to identify productive collection samples with high adaptive properties for use in pea breeding. The study was carried out at the Federal State Budgetary Scientific Institution “ARC “Donskoy”, located in the southern part of the Rostov region. The objects of study were 100 collection pea samples from the collection of the ARIGRP named after N. I. Vavilov, 47 samples of which were with a usual (leafy) and 53 samples with a leafless type of leaf. The variety ‘Aksaisky Usaty 5’ was used as a standard. The years of study, differing in agroclimatic conditions during the vegetation period, made it possible to estimate collection samples according to adaptive properties. The mean productivity of the collection over the years of study was 2.10 t/ha (1.58–3.25 t/ha). Seed productivity in the group of samples with a leafless type (2.10 t/ha) was at the level with leafy samples (2.09 t/ha). At the same time, the coefficient of variation was lower in the group of leafless samples – 12.4 %, than in the group of leafy ones – 13.0 %. Seed productivity of the standard variety ‘Aksaisky Usaty 5’ over the years of study was 2.00 t/ha, ranged from 1.42 to 3.30 t/ha. Among the leafy samples, the most productive ones were ‘OMK-3’ (2.46 t/ha), ‘221/73’ (2.55 t/ha), ‘269/80’ (2.67 t/ha), ‘525/80’ (2.68 t/ha), ‘Blagodatny’ (2.77 t/ha). Among the samples with a leafy type, the most productive ones turned out to be ‘Ramus’ (2.45 t/ha), ‘Svetozar’ (2.52 t/ha), ‘Lavr’ (2.55 t/ha), ‘Koral’ (2.56 t/ha), ‘Deviz’ (2.62 t/ha). The highest values of homeostaticity with high seed productivity were found in the samples with a usual leaf, such as ‘Blagodatny’ (4.14) and ‘525/80’ (5.23). And among the leafless samples, the best ones were ‘Deviz’

(7.57) and 'Koral' (7.60). The study results on the homeostaticity of seed productivity of pea samples were used in breeding work when selecting parental forms for hybridization.

Keywords: collection, peas, productivity, variety, variability, homeostaticity.

Введение. В современных селекционных исследованиях большое значение придается изучению взаимодействия «генотип – среда», где сорт как итоговый продукт селекционера характеризуется параметрами гомеостатичности, адаптивности, пластичности, устойчивости. В них отражена норма реакции генотипа на разные условия возделывания. К современным сортам предъявляются высокие требования не только по продуктивности, но также к их стрессоустойчивости, адаптивным возможностям, приспособленности к современным технологиям возделывания (Поползухин и др., 2019; Манукян и др., 2019; Пислегина и Четвертных, 2018; Шакирзянова, 2016; Рипбергер и др., 2015).

Все это предъявляется и к сортам гороха. Современные сорта гороха посевного имеют высокий потенциал продуктивности. Но он может быть ограничен из-за низких гомеостатичности и аридности климата. У данных сортов наблюдается направленность к снижению адаптивных свойств. Одной из главных задач, стоящих перед селекционерами, является создание генотипа, который будет включать в себя высокий потенциал продуктивности и устойчивость к различным абио- и биотическим стрессам (Kalapchieva et al., 2022; Пислегина и др., 2018; Лихачева и др., 2016). Поэтому давать агроэкологическую оценку (а также изучать их адаптивные свойства) нужно не только созданным ныне сортам, но и селекционному материалу. В связи с этим изучение адаптивных свойств в селекционной практике возрастает. В результате чего возникает потребность в изучении мировых коллекций сортов гороха и других культур в разных погодно-климатических условиях нашей страны (Коробова и др., 2016; Омелянюк и др., 2022; Костерин, 2015).

Цель исследований – выделение продуктивных коллекционных образцов с высокими адаптивными свойствами для использования их в селекции гороха.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур

ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в южной зоне Ростовской области. Изучение коллекции гороха велось в 2017–2020 годах. Почва – чернозем обыкновенный (предкавказский карбонатный). Мощность гумусового горизонта до 140 см. Содержание гумуса в пахотном слое 3,2 %, подвижного фосфора в пределах 20–23 мг/кг, обменного калия – 300–380 мг/кг почвы.

Объектами исследований служили 100 коллекционных образца гороха посевного коллекции ВИГРР им. Н.И. Вавилова, из которых 47 образцов с обычным (листочковым) и 53 образца с усатым (безлисточковым) типом листа. В качестве стандарта использовали сорт Аксайский усатый 5. Предшественник – озимая пшеница. Посев проводили сеялкой ССФК-7 с нормой высева 1,4 млн всхожих семян на 1 га, с шириной междурядий 0,15 м. Делянки семирядковые. Площадь делянки – 5 м². Повторность – однократная. Уборку выполняли комбайном «Wintersteiger Classic».

Обработку результатов проводили методом дисперсионного анализа. Для определения параметров адаптивности сортов в наших исследованиях использовалась методика, предложенная В.В. Хангильдиным (1984). При определении гомеостатичности ($H_{om} = x^2 / (\delta \cdot (x_{opt} - x_{lim}))$) семенной продуктивности образцов гороха учитывали и следующие параметры: стрессоустойчивость ($x_{lim} - x_{opt}$), генетическую гибкость $((x_{opt} + x_{lim})/2)$, коэффициент вариации (V_c %), селекционную ценность ($S_c = x \cdot (x_{lim}/x_{opt})$), где: x – средняя урожайность семян; δ – среднеквадратичное отклонение; x_{opt} – максимальная урожайность семян; x_{lim} – минимальная урожайность семян.

Агрометеорологические условия за годы исследований были контрастными, что позволило оценить коллекционные образцы гороха по урожайности семян.

Метеоусловия 2017 г. характеризовались как благоприятные, с хорошей влагообеспеченностью. Гидротермический режим был избыточным и достаточным увлажнения в период вегетации (2,68–1,42) (табл. 1).

Таблица 1. Гидротермический коэффициент в период вегетации коллекционных образцов (2017–2020 гг.)
Table 1. Hydrothermal coefficient during the vegetation period of collection samples (2017–2020)

Месяцы	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Апрель	2,68	0,24	0,80	2,39
Май	1,20	0,21	1,08	2,35
Июнь	1,42	0,06	0,14	0,60
Июль	0,56	0,89	1,01	0,70

В 2018 г. погодно-климатические условия в вегетационный период гороха в целом были острозасушливыми. В 2019 г. апрель и май, когда горох находился в первой половине перио-

да вегетации (всходы – цветение), характеризовались благоприятными условиями, июнь и июль, во второй половине вегетации (цветение – созревание), – острозасушливыми.

В 2020 г. в первую половину вегетации наблюдалось избыточное увлажнение, а вторая половина была с недостаточным увлажнением.

Результаты и их обсуждение. Средняя урожайность по коллекции за годы исследований составила 2,10 т/га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность семян коллекционных образцов и ее вариабельность (2017–2020 гг.)
Table 2. Seed productivity of collection samples and its variability (2017–2020)

Годы	Тип листа				В целом по коллекции	
	листочковый		усатый			
	т/га	V _c , %	т/га	V _c , %	т/га	V _c , %
2017	3,30	16,0	3,21	16,2	3,25	16,2
2018	1,56	32,5	1,86	26,6	1,72	30,4
2019	1,55	23,7	1,61	24,0	1,58	23,9
2020	1,96	39,4	1,72	43,0	1,84	41,6
среднее	2,09	13,0	2,10	12,4	2,10	12,7
HCP ₀₅ , т/га	–	–	–	–	0,43	–

Анализ урожайности семян в среднем по коллекции и ее вариации показал большие различия по годам по обоим показателям. Большие различия в урожайности семян по годам связаны с погодно-климатическими условиями, сложившимися в вегетационный период, которые сильно отличались по годам. Это подтверждается минимальным ГТК по месяцам за годы исследований (значение 0,06) и максимальным (значение 2,68). Это в свою очередь отразилось и на уровне семенной продуктивности в исследованиях. Так, средняя урожайность по коллекции имела минимальное значение 1,58 т/га в 2019 г., а максимальное 3,25 т/га – в 2017 году. В то же время коэффициент вариации в целом по коллекции имел минимальный показатель в 2017 г. (16,2%),

а максимальный – в 2020 г. (41,6%). Можно отметить, что урожайность семян в усатой группе (2,10 т/га) была на уровне с листочковой группой (2,09 т/га), что подтверждает мнение многих селекционеров о том, что уровень урожайности усатых форм, которые более технологичны при возделывании, достиг и превысил урожайность листочковых сортов. И при этом уровень их вариабельности ниже в усатой группе – 12,4% против 13,0% в листочковой.

Урожайность семян стандартного сорта Аксайский усатый 5 за годы исследований составила 2,00 т/га с варьированием от 1,42 до 3,30 т/га, что ниже среднего по коллекции (2,10 т/га) на фоне высокой вариации 43,9% (табл. 3).

Таблица 3. Оценка показателей гомеостатичности коллекционных образцов гороха с высокой семенной продуктивностью (2017–2020 гг.)
Table 3. Estimation of homeostatic indicators of collection pea samples with large seed productivity (2017–2020)

Происхождение	Урожайность семян, т/га					Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	Коэффициент вариации, %	Селекционная ценность	Гомеостатичность
	2017	2018	2019	2020	среднее					
Аксайский усатый 5, st	3,30	1,79	1,42	1,50	2,00	-1,88	2,36	43,9	0,86	2,43
<i>Листочковая группа</i>										
ОМК-3 (Россия)	2,98	1,04	1,52	4,30	2,46	-3,26	2,67	60,1	0,59	1,26
221/73 (Украина)	3,88	1,58	1,50	3,23	2,55	-2,38	2,69	46,8	0,98	2,28
269/80 (Украина)	4,00	0,36	2,84	3,48	2,67	-3,64	2,18	60,4	0,24	1,22
525/80 (Украина)	3,50	2,11	1,84	3,27	2,68	-1,66	2,67	30,8	1,41	5,23
Благодатный (Украина)	3,58	2,09	1,76	3,64	2,77	-1,88	2,70	35,5	1,34	4,14
<i>Усатая группа</i>										
Рамус (Россия)	4,64	1,39	1,64	2,12	2,45	-3,25	3,01	61,0	0,73	1,24
Светозар (Россия)	3,66	2,24	2,0	2,17	2,52	-1,66	2,83	30,5	1,38	4,97
Лавр (Россия)	3,76	1,49	2,02	2,92	2,55	-2,27	2,63	39,3	1,01	2,86
Корал (Украина)	3,0	2,96	1,64	2,64	2,56	-1,36	2,32	24,8	1,40	7,60
Девиз (Украина)	3,46	1,98	2,56	2,50	2,62	-1,48	2,72	23,4	1,50	7,57
Стандартное отклонение, т/га	0,54	0,51	0,37	0,78	–	–	–	–	–	–
HCP ₀₅ , т/га	–	–	–	–	0,43	–	–	–	–	–

В результате проведенных исследований выделены образцы, достоверно превысившие стандарт по урожайности семян. В листовочной группе с высокой семенной продуктивностью были образцы ОМК-3 (2,46 т/га), 221/73 (2,55 т/га), 269/80 (2,67 т/га), 525/80 (2,68 т/га), Благодатный (2,77 т/га). В усатой группе таковыми оказались образцы Рамус (2,45 т/га), Светозар (2,52 т/га), Лавр (2,55 т/га), Корал (2,56 т/га), Девиз (2,62 т/га).

Стрессоустойчивость показывает разницу между минимальным и максимальным показателем. И чем она меньше, тем выше устойчивость к стрессу. Наиболее продуктивные образцы различались по стрессоустойчивости. Наибольшую стрессоустойчивость имели образцы 525/80 (-1,66), Благодатный (-1,88) из листовочной группы и сорта Корал (-1,36), Девиз (-1,48) из усатой группы. Наименьшей стрессоустойчивостью характеризовались образцы 269/80 (-3,64), ОМК-3 (-3,26) из листовочной группы и Рамус (-3,25) из усатой.

Большой адаптивностью обладают те образцы, чья генетическая гибкость выше, которая отображается средней между минимальным и максимальным значением образца. Так, в группе листовочного морфотипа по данному показателю выделились образцы 221/73 (2,69) и Благодатный (2,70). В группе усатого морфотипа наибольшей генетической гибкостью обладали образцы Светозар (2,83) и Рамус (3,01).

Коэффициент вариации показывает степень изменчивости каждого образца, который в конечном итоге может дать общую оценку адаптивным свойствам. В данном случае по коэффициенту вариации каждого образца можно оценить внутрисортную изменчивость. И чем она ниже, тем меньше образец реагирует на изменение условий возделывания. Наименьшая

внутрисортная изменчивость отмечалась у образцов из усатой группы – Корал (24,8 %), Девиз (23,4 %). Большой внутрисортной изменчивостью (30–40 %) характеризовались образцы из листовочной группы – 525/80 (30,8 %), Благодатный (35,5 %) и из усатой группы Светозар (30,5 %) и Лавр (39,3 %). А наибольшая вариабельность прослеживалась у образцов ОМК-3 (60,1 %) (листовочная группа) и Рамус (61,0 %) (усатая группа).

Высокую селекционную ценность из выделенных высокопродуктивных образцов гороха представляют в листовочной группе Благодатный (1,34) и 525/80 (1,41), а в усатой – Корал (1,40) и Девиз (1,50).

Наибольшие значения гомеостатичности и высокой семенной продуктивностью отмечены образцы в листовочной группе – Благодатный (4,14) и 525/80 (5,23), на что указывает низкий коэффициент вариации ($V_c = 35,5\%$ и $V_c = 30,8\%$ соответственно). А в усатой группе – образцы Девиз (7,57) и Корал (7,60).

Выводы. На основании проведенных исследований в 2017–2020 гг. в селекции на гомеостатичность образцов гороха с разным типом листа выделены образцы с наибольшей урожайностью семян – Благодатный (2,77 т/га) и Девиз (2,62 т/га). Высокие показатели стрессоустойчивости и гомеостатичности по урожайности семян отмечены у образцов Благодатный (-1,88), 525/80 (-1,66), Девиз (-1,48), Корал (-1,36). Высокой селекционной ценностью обладали: в листовочной группе образцы Благодатный (1,34) и 525/80 (1,41); в усатой – Корал (1,40) и Девиз (1,50). Результаты проведенных исследований на гомеостатичность урожайности семян образцов гороха использованы в селекционной работе при подборе родительских форм для гибридизации.

Библиографические ссылки

1. Коробова Н. А., Коробов А. П., Козлов А. А., Лысенко А. А. Экологическая пластичность и урожайность сортов зернового гороха // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 2. С. 85–88.
2. Костерин О. Э. Перспективы использования диких сородичей в селекции гороха (*Pisum sativum* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19, № 2. С. 4–14.
3. Лихачева Л. И., Гималетдинова В. С., Козионова Е. Г. Сопряженность количественных признаков сортообразцов гороха в условиях Среднего Урала // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. № 3 (19). С. 45–48.
4. Манукян И. Р., Басиева М. А., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2019. № 183. С. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158
5. Омелянюк Л. В., Асанов А. М., Кармазина А. Ю. Результаты изучения сортов гороха иностранной селекции в южной лесостепи Омской области // Вестник Омского ГАУ. 2022. № 4(48). С. 49–55. DOI 10.48136/2222-0364-2022-4-49
6. Пислегина С. С., Четвертных С. А. Урожайность сортов гороха в конкурсном сортоиспытании в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 67, № 6. С. 58–64. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.58-64
7. Поползухин П. В., Николаев П. Н., Аниськов Н. И., Юсова О. А., Сафонова И. В., Быков С. А. Агробиологическая характеристика кормового сорта ярового ячменя Саша // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 1. С. 27–29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10106
8. Рипбергер Е. И., Боме Н. А., Траутц Д. Изменчивость высоты растений гибридных форм яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) как способ их адаптации в различных эколого-географических условиях // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. Т. 19, № 2. С. 35–40.
9. Шакирзянова М. С. Продуктивность и экологическая пластичность сортов гороха экологического сортоиспытания // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 12. С. 28–30.
10. Kalarchieva S., Kosev V., Vasileva V. Взаимодействие генотип – среда и стабильность количественных признаков у садового гороха // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 5. С. 965–980. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.965rus

References

1. Korobova N.A., Korobov A.P., Kozlov A.A., Lysenko A.A. Ekologicheskaya plastichnost' i urozhainost' sortov zernovogo gorokha [Ecological adaptability and productivity of grain pea varieties] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. T. 30, № 2. S. 85–88.
2. Kosterin, O.E. Perspektivy ispol'zovaniya dikikh sorodichei v selektsii gorokha (*Risum sativum* L.) [Prospects for the use of wild relatives in the pea breeding (*Pisum sativum* L.)] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2015. T. 19, № 2. S. 4–14.
3. Likhacheva L.I., Gimaletdinova V.S., Kozionova E.G. Sopryazhennost' kolichestvennykh priznakov sortoobraztsov gorokha v usloviyakh Srednego Urala [Conjugation of quantitative traits of pea varieties under the conditions of the Middle Urals] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2016. № 3(19). S. 45–48.
4. Manukyan I.R., Basieva M.A., Miroshnikova E.S., Abiev V.B. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh predgornoi zony Tsentral'nogo Kavkaza [Estimation of the ecological adaptability of winter wheat varieties in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus] // Agrarnyi vestnik Urala. 2019. № 183. S. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158
5. Omel'yanyuk L.V., Asanov A.M., Karmazina A. Yu. Rezul'taty izucheniya sortov gorokha inostrannoi selektsii v yuzhnoi lesostepi Omskoi oblasti [Study results of pea varieties of foreign selection in the southern forest-steppe of the Omsk region] // Vestnik Omskogo GAU. 2022. № 4 (48). S. 49–55. DOI 10.48136/2222-0364-2022-4-49
6. Pislegina S.S., Chetvertnykh S.A. Urozhainost' sortov gorokha v konkursnom sortoispytanii v usloviyakh Kirovskoi oblasti [Productivity of pea varieties in the Competitive Variety Testing in the Kirov region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. T. 67, № 6. S. 58–64. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.58-64
7. Popolzukhin P.V., Nikolaev P.N., Anis'kov N. I., Yusova O.A., Safonova I.V., Bykov S.A. Agrobiologicheskaya kharakteristika kormovogo sorta yarovogo yachmenya Sasha [Agrobiological characteristics of the fodder spring barley variety 'Sasha'] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33, № 1. S. 27–29. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10106
8. Ripberger E.I., Bome N.A., Trautts D. Izmenchivost' vysoty rastenii gibridnykh form yarovoi myagkoi pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) kak sposob ikh adaptatsii v razlichnykh ekologo-geograficheskikh usloviyakh [Variability of plant height of hybrid forms of spring common wheat (*Triticum aestivum* L.) as a way of their adaptation in different ecological and geographical conditions] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2015. T. 19, № 2. S. 35–40.
9. Shakirzyanova M.S. Produktivnost' i ekologicheskaya plastichnost' sortov gorokha ekologicheskogo sortoispytaniya [Productivity and ecological adaptability of pea varieties in the Ecological Variety Testing] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. T. 30, № 12. S. 28–30.
10. Kalapchieva S., Kosev V., Vasileva V. Vzaimodeistvie genotip – sreda i stabil'nost' kolichestvennykh priznakov u sadovogo gorokha [Correlation between a genotype and environment, and stability of quantitative traits in garden peas] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 5. S. 965–980. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.965rus

Поступила: 04.10.23; доработана после рецензирования: 07.11.23; принята к публикации: 07.11.23.

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. Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Скулова М.В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПОИСК ЭФФЕКТИВНОГО МОРФОМЕТРИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА, СООТВЕТСТВУЮЩЕГО СИЛЬНОВАКУОЛИЗИРОВАННОЙ СТАДИИ МИКРОСПОР У ЯЧМЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО

Я. А. Блинова, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии, yana.manuhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3670-5876;
Д. Д. Бабина, научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии, babinadd@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2544-9667;
А. С. Ханова, научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии, micenyk-anastasi@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1171-0844;
М. Ю. Король, научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии, podobedmyu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0911-2650;
Е. В. Бондаренко, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярно-клеточных основ сельскохозяйственной радиобиологии, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824

*Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,
249035, Калужская область, г. Обнинск, шоссе Киевское, д. 1, кв. 1*

Ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.) – значимая сельскохозяйственная культура, для создания новых сортов которой используются методы прикладной биотехнологии. Одним из перспективных биотехнологических подходов является получение гаплоидных растений из культуры пыльников или изолированных микроспор. Результативность этих методов на основе андроклинии зависит от фазы развития микроспор в пыльниках. Для злаков оптимальной стадией развития считается одноядерная сильновакуолизованная микроспора. С учетом трудоемкости цитологического контроля этапов формирования гаплоидных половых клеток для рутинных биотехнологических процедур необходим надежный и простой способ отбора колосьев с микроспорами на оптимальной стадии развития. В связи с этим цель данного исследования заключалась в выявлении эффективного морфометрического параметра, соответствующего сильновакуолизованной одноядерной стадии микроспор в пыльниках ячменя обыкновенного отечественных сортов Леон, Фокс 1 и Ратник и эталонного для генетической трансформации сорта Golden Promise для введения этих сортов в культуру *in vitro*. У всех исследуемых генотипов отмечен полиморфизм микроспор, обусловленный асинхронностью их развития. Наибольшее количество сильновакуолизованных микроспор зафиксировано для отечественного сорта Леон. В поиске морфометрического параметра, ассоциированного с оптимальной стадией микроспор, проанализированы следующие показатели: интервальное расстояние между флаговым и вторым листом (Ф-2л), интервальное расстояние между флаговым листом и кончиком находящегося в трубке колоса (Ф-К), длина и ширина колоса, а также рассчитан морфометрический критерий (соотношение Ф-2л:Ф-К), ранее предложенный для определения оптимальной стадии развития пыльника у ряда генотипов яровой мягкой пшеницы. Установлено, что из всех исследованных параметров стадию развития микроспор как инициальных клеток андроклинии можно определить при помощи морфометрического критерия. Однако важно помнить, что, кроме внутрисортной асинхронности формирования микроспор, существует высокая межсортная вариабельность, поэтому значения морфометрического критерия следует подбирать для каждого сорта, вводимого в биотехнологический процесс.

Ключевые слова: Ячмень обыкновенный, андрогенез, сильновакуолизованная стадия микроспор, морфометрический критерий.

Для цитирования: Блинова Я. А., Бабина Д. Д., Ханова А. С., Король М. Ю., Бондаренко Е. В. Поиск эффективного морфометрического параметра, соответствующего сильновакуолизованной стадии микроспор у ячменя обыкновенного // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 29–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-29-35.



SEARCH FOR AN EFFECTIVE MORPHOMETRIC PARAMETER CORRESPONDING TO THE HIGHLY VACUOLATED STAGE OF MICROSPORES IN COMMON BARLEY

Ya. A. Blinova, junior researcher of the laboratory for molecular cellular fundamentals of agricultural radiobiology, yana.manuhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3670-5876;
D. D. Babina, researcher of the laboratory for molecular cellular fundamentals of agricultural radiobiology, babinadd@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2544-9667;
A. S. Khanova, researcher of the laboratory for molecular cellular fundamentals of agricultural radiobiology, micenyk-anastasi@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1171-0844;
M. Yu. Korol, researcher of the laboratory for molecular cellular fundamentals of agricultural radiobiology, podobedmyu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0911-2650;
E. V. Bondarenko, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the laboratory for molecular cellular fundamentals of agricultural radiobiology, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824

Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology of the National Research Center "Kurchatov Institute"
249035, Kaluga region, Obninsk, Kievskoe Sh., 1/1

Common barley (*Hordeum vulgare* L.) is an important agricultural crop, when the applied biotechnology methods are used for the development of new varieties. One of the promising biotechnological approaches is the production of haploid plants from anther culture or isolated microspores. The efficiency of these androclinium-based methods depends on the developmental phase of microspores in the anthers. For cereals, the optimal stage of development is a mononuclear, highly vacuolated microspore. Considering the labor intensity of cytological control of the stages of formation of haploid germ cells for routine biotechnological procedures, a reliable and simple method for selecting ears with microspores at the optimal stage of development is required. In this regard, the purpose of the current study was to identify an effective morphometric parameter corresponding to the highly vacuolated mononuclear stage of microspores in the anthers of common barley of domestic varieties 'Leon', 'Fox 1' and 'Ratnik' and the reference variety for genetic transformation 'Golden Promise', for the introduction of these varieties into *in vitro* culture. In all studied genotypes, there has been found polymorphism of microspores, due to the asynchrony of their development. The largest number of highly vacuolated microspores was established for the domestic variety 'Leon'. In the search for a morphometric parameter associated with the optimal stage of microspores, there have been analyzed such indicators as the interval distance between the flag leaf and the second one (F-2l), the interval distance between the flag leaf and the tip of the ear located in the tube (F-K), the length and width of the ear, and also calculated the morphometric criterion (ratio of F-2l:F-K), previously proposed to determine the optimal stage of anther development in a number of genotypes of spring bread wheat. There has been established that, of all the parameters studied, the stage of development of microspores as initial androclinium cells can be determined using a morphometric criterion. However, it is important to remember that, in addition to the intravarietal asynchrony of microspore formation, there is high intervarietal variability, therefore, the values of the morphometric criterion should be selected for each variety introduced into the biotechnological process.

Keywords: common barley, androgenesis, highly vacuolated stage of microspores, morphometric criterion.

Введение. Ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.) является важной сельскохозяйственной культурой. Зерно ячменя широко используют для продовольственных, кормовых и технических целей. В период неустойчивого климата и быстро растущего населения планеты необходимо в создании новых высокоурожайных сортов, устойчивых к неблагоприятным условиям окружающей среды, выражена особенно ярко.

В выведении новых сортов и ускорении селекционного процесса значимую роль играют методы прикладной биотехнологии, с помощью которых можно получить растения с улучшенными показателями продуктивности, а также более устойчивые к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. Среди биотехнологических методов в селекции самоопыляющихся культур широко используется способ получения гаплоидных растений, из которых путем спонтанного или индуцированного удвоения хромосом за короткое время можно получить гомозиготные линии удвоенных гаплоидов. В настоящее время в селекции ячменя наиболее часто применяют следующие методы получения гаплоидов: скрещивание с *H. bulbosum* (Watts et al., 2018), индукция андрогенеза в культуре пыльников (Han et al., 2021; Ohnoutkova et al., 2019) и изолированных микроспор (Дьячук и др., 2019).

Феномен андрогенеза (или андроклинии) связан с переключением пути развития спорогенных клеток с гаметофитного на спорофитный под воздействием различных стрессоров (Круглова и Никонов, 2018; Ohnoutkova et al., 2019). Смена программы развития с гаметофитной на спорофитную возможна только в случае нахождения микроспор на определенной, чувствительной к внешним воздействиям стадии развития. Для злаков подходящей для введения в культуру *in vitro* считается стадия одно-

дерной сильновакуолизированной микроспоры (Некрасова и Калинина, 2022, Ohnoutkova et al., 2019).

Подбор морфометрического параметра, соответствующего оптимальной для инокуляции *in vitro* стадии микроспор в пыльниках, является важной задачей, которая позволит упростить и ускорить технологию получения гаплоидных форм, гомозиготных линий удвоенных гаплоидов и генотипов с редактированным геномом для увеличения генетического разнообразия *H. vulgare*. В работе (Ohnoutkova et al., 2019) в качестве морфометрического параметра для отбора колосьев ячменя яровых и озимых сортов рекомендовано расстояние между флаговым и вторым листом, при котором в пыльнике будет преобладающее количество микроспор на оптимальной стадии. Для отечественных сортов ячменя такой параметр пока не предложен.

Таким образом, цель данного исследования заключалась в выявлении эффективного морфометрического параметра, соответствующего одноядерной сильновакуолизированной стадии микроспор в пыльниках ячменя отечественных сортов Леон, Фокс 1, Ратник и сорта Golden Promise (страна происхождения – Великобритания) для упрощения отбора колосьев при введении этих сортов в культуру *in vitro* методом андроклинии.

Материалы и методы исследований.

В качестве объекта исследования использовали ячмень обыкновенный четырех сортов: сорт Golden Promise (GP) – яровой, эталонный для генетической трансформации (включен в национальный реестр Великобритании в 1968 г. (Han et al., 2021)) и сорта селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (г. Зерноград) – яровые Леон и Ратник и озимый сорт Фокс 1.

Семена проращивали в чашках Петри при комнатной температуре в течение трех

суток. Для формирования дренажной системы на дно горшка (5 л) помещали 2 слоя марлевой ткани и устилали 2–3-сантиметровым слоем керамзита. Поверх керамзита засыпали универсальный грунт (Terra Vita Живая земля, Неваторф), доводили массу субстрата до 2 кг. Далее грунт проливали дистиллированной водой до полного смачивания. Проросшие семена заглубляли на 1,5–2 см в грунт по 2 проростка на горшок. Донорные растения выращивали в условиях фитотронного блока в режиме освещения день/ночь 14/10 ч, около 440 мкмоль · м⁻² · с⁻¹ фотосинтетически активного излучения на уровне верха растений (про-

изводитель RDM-Led, Россия) при температуре 21/17 °С и 50 %-й влажности.

Колосья отбирали на стадии удлинения влагалища флагового листа, регистрируя расстояние между лигулой флагового и подфлагового (второго) листьев (Ф-2л), расстояние между основанием флагового листа и кончиком находящегося в трубке колоса (Ф-К) (рис. 1), а также длину колоса и ширину трубки в месте расположения колоса. Последний параметр не измерялся у шестирядного сорта Фокс 1 (из-за отсутствия необходимости в сравнительном анализе с остальными сортами, колосья которых двурядные).

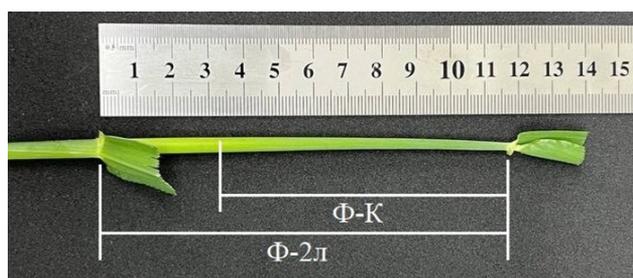


Рис. 1. Стадия удлинения влагалища флагового листа.

Интервал Ф-2л (см) – расстояние между основанием флагового и второго листьев, Ф-К (см) – расстояние между основанием флагового листа и кончиком находящегося в трубке колоса

Fig. 1. Elongation stage of a split leaf sheath.

Interval F-2l (cm) – the distance between a flag leaf base and second leaves, F-K (cm) – the distance between a flag leaf base and the tip of the ear located in the tube

Срезанные колосья хранили в дистиллированной воде в темноте при 4 °С (не более 48 ч). Для определения стадии развития микроспор колос обрабатывали 75%-м спиртом и в стерильных условиях извлекали из середины колоса 1–2 цветка. Цветки помещали на предметное стекло и готовили временный давленый препарат пыльников. Стадию развития микроспор определяли цитологическим методом, окрашивая препараты 2%-м раствором ацетокармина, при помощи светового микроскопа (SK-14, Польша) при увеличении 480 х (окуляры 12х, объектив 40х). В каждом препарате определяли фазу развития (ранняя, оптимальная, поздняя) 50 микроспор. Колосья, в которых процент оптимальных микроспор в исследуемых пыльниках превышал 50 %, считали пригодными для дальнейшей работы.

Статистическую обработку и визуализацию данных проводили с помощью MS Office, среды программирования RStudio 4.0.5 и Python 3.8. Для сравнения показателей исследуемых сортов применяли непараметрический дисперсионный анализ: критерий Крускала–Уоллеса с апостериорным тестом Данна (с поправкой на множественность Бонферрони или FDR (False Discovery Rate)). Одномерное распределение данных с использованием ядерной оценки плотности выполнено при помощи библиотеки seaborn и функции kdeplot для Python 3.8.

Результаты и их обсуждение. Фазы развития микроспор в инокулируемых пыльниках определяли при помощи цитологического исследова-

ния. Микроспоры в образце (в пыльниках средней трети колоса у исследованных генотипов ячменя) относили к трем группам развития: ранняя, оптимальная и поздняя (рис. 2).

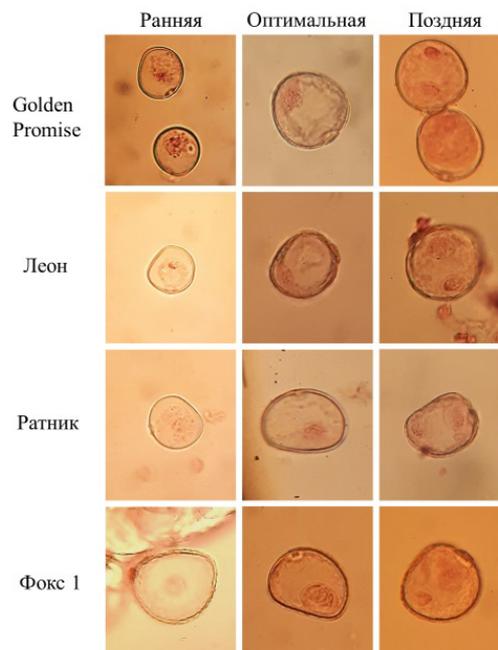


Рис. 2. Микроспоры, окрашенные 2%-м раствором ацетокармина, на разных стадиях развития для сортов Golden Promise, Леон, Ратник, Фокс 1

Fig. 2. Microspores, stained with a 2 % solution of acetocarmine, at different stages of development for the varieties 'Golden Promise', 'Leon', 'Ratnik', 'Fox 1'

На ранней стадии микроспоры характеризуются малыми размерами, отсутствием видимой крупной вакуоли, а также грануляцией цитоплазмы. Ядро, еще не вытесненное вакуолью, располагается по центру клетки или у клеточной стенки вблизи поры. К оптимальным относились сильновакуолизированные микроспоры с крупной неокрашенной вакуолью, занимающей большую часть клетки, с одним ядром, располагающимся на противоположной от поры стороне клетки. Поздними считались микроспоры, находящиеся в стадии митоза, дву- и более ядерные, сильноокрашенные, гранулированные, а также микроспоры в стадии сформировавшихся пыльцевых зерен.

У всех исследуемых генотипов отмечен полиморфизм микроспор, обусловленный асинхронностью их развития, и в большинстве случаев в пыльниках, извлеченных из колосьев всех изученных сортов, одновременно находились микроспоры, относящиеся к разным группам развития. Выявлены статистически значимые различия между генотипами в следующих фазах развития микроспор: оптимальная – между Фокс 1 и Леон (медиана±доверительный

интервал (ДИ), %: 20 ± 11 и 54 ± 7 соответственно; $p = 0,03$) и поздняя – между Golden Promise и Леон (медиана±ДИ, %: 70 ± 10 и 16 ± 10 соответственно; $p = 0,02$). Наибольшее количество сильновакуолизированных микроспор было зафиксировано для сорта Леон (медиана±ДИ: 54 ± 7 %).

В процессе поиска морфометрического параметра, потенциально соответствующего сильновакуолизированной стадии микроспор, в работе измеряли интервальное расстояние между флаговым и вторым листом (Ф-2л), интервальное расстояние между флаговым листом и кончиком находящегося в трубке колоса (Ф-К), длину колоса и ширину колоса в трубке (исключая сорт Фокс 1) (рис. 3).

У ячменя сорта Фокс 1 обнаружена статистически значимая разница по параметру Ф-2л между колосьями с преимущественно оптимальными микроспорами и колосьями с поздними микроспорами в пыльниках (рис. 3, а). Интервальное расстояние между флаговым и вторым листом статистически значимо больше у колосьев с поздними микроспорами.

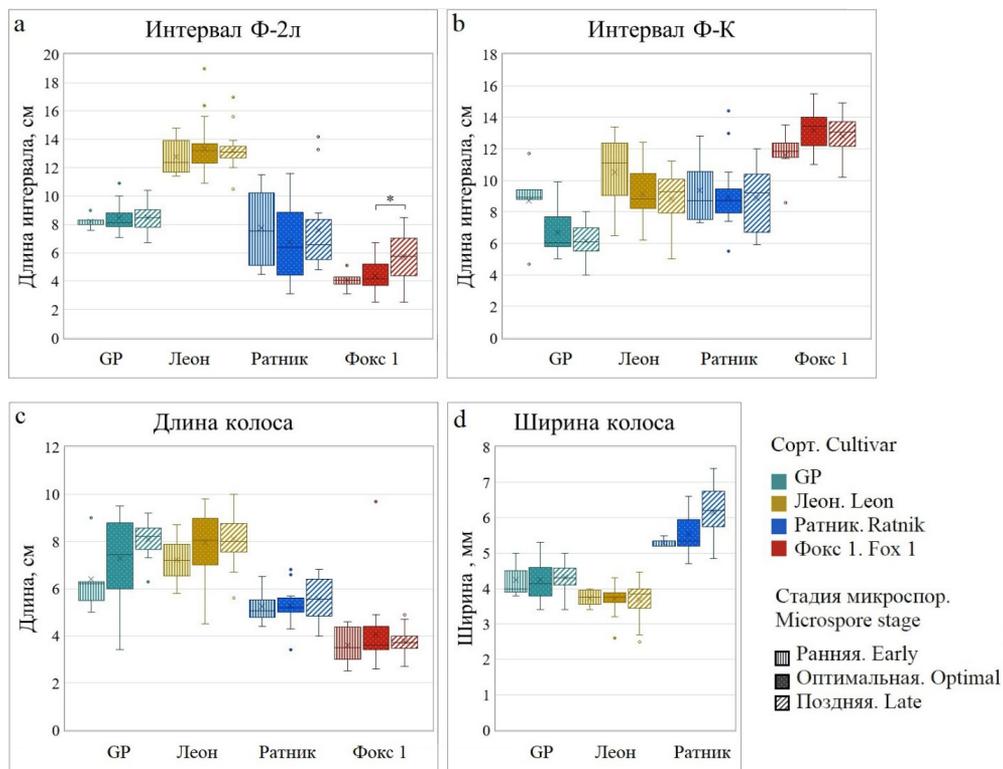


Рис. 3. Соотношение стадии микроспор и морфометрических параметров ячменя сортов Golden Promise (GP), Леон, Ратник и Фокс 1: а – интервал Ф-2л (см), б – интервал Ф-К (см), с – длина колоса (см), d – ширина колоса (мм). * – различия статистически значимы в рамках одного сорта (тест Краскела–Уоллиса с апостериорным тестом Данна и поправкой Бонферрони)

Fig. 3. Correlation of the microspore stage and morphometric parameters of barley varieties 'Golden Promise' (GP), 'Leon', 'Ratnik' and 'Fox 1': a – F-2l interval (cm), b – F-K interval (cm), c – ear length (cm), d – ear width (mm). * – differences are statistically significant within one variety (Kruskal–Wallis test with Dunn's post hoc test and Bonferroni correction)

Для тестируемых генотипов и условий выращивания расстояние Ф-2л было наибольшим для сорта Леон (медиана±ДИ: $13,2\pm 0,5$ см)

и наименьшим для сорта Фокс 1 (медиана ± ДИ: $4,2\pm 0,6$ см). В работе по изучению онтогенетических событий в андрогенезе у бразильских

генотипов ячменя это расстояние составляло около 5 см (Silva et al., 2000). Ohnoutkova et al. (2019) предлагают срезать колосья, когда флаговый лист отрастает от второго листа на 7–9 см.

Еще одним параметром визуальной оценки колосьев, предлагаемым российскими исследователями (Круглова и Никонов, 2018), является морфометрический критерий (МК), который определяется как соотношение Ф-2л:Ф-К. Данный параметр был разработан для определения стадии развития пыльника, упрощения технологии получения гаплоидных форм и для повышения эффективности индукции

андрогенеза *in vitro* у ряда генотипов яровой мягкой пшеницы. В результате анализа полученных значений МК (рис. 4) для последующих биотехнологических исследований предлагаются колосья со следующими величинами МК: до 1,3 для Golden Promise; до 1,4 для сорта Леон; 0,7 для сорта Ратник и до 0,3 для сорта Фокс 1. МК, соответствующий фазе одноядерной сильновакуолизированной микроспоры, статистически значимо выше у растений сортов Golden Promise и Леон по сравнению с сортами Ратник и Фокс 1, у сорта Ратник выше, чем у сорта Фокс 1 (рис. 4).

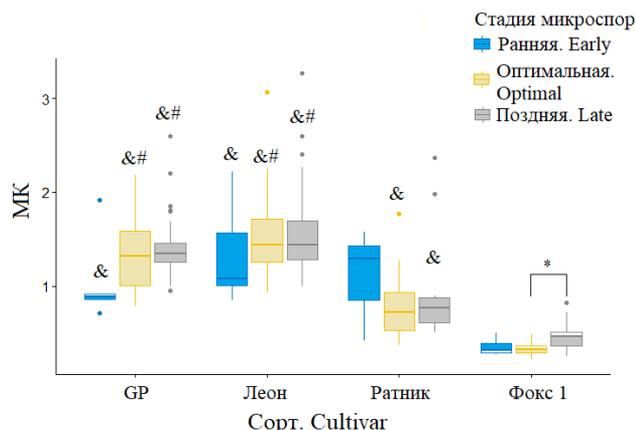


Рис. 4. Соотношение стадии микроспор и морфометрического критерия (МК) для ячменя сортов Golden Promise (GP), Леон, Ратник и Фокс 1. & – статистически значимые различия ($p < 0,05$) с микроспорами той же стадии сорта Фокс 1; # – статистически значимые различия ($p < 0,05$) с микроспорами той же стадии сорта Ратник; * – статистически значимые различия ($p < 0,05$) с микроспорами того же сорта (тест Краскела–Уоллиса с апостериорным тестом Данна и поправкой FDR)

Fig. 4. Correlation between the microspore stage and the morphometric criterion (MC) for barley varieties 'Golden Promise' (GP), 'Leon', 'Ratnik' and 'Fox 1'. & – statistically significant differences ($p < 0.05$) with microspores of the same stage of the variety 'Fox 1'; # – statistically significant differences ($p < 0.05$) with microspores of the same stage of the variety 'Ratnik'; * – statistically significant differences ($p < 0.05$) with microspores of the same variety (Kruskal–Wallis test with Dunn's post hoc test and FDR correction)

Разброс значений морфометрического критерия одной и той же фазы развития микроспор в пыльниках можно объяснить как различными сорт-специфичными, так и индивидуальными темпами развития растений, а также влиянием условий выращивания. В целом, так же, как и в случае с пшеницей, МК можно использовать для отбора колосьев ячменя обыкновенного, в пыльниках которых находятся микроспоры преимущественно на оптимальной стадии развития, без вскрытия колоса и цитологического контроля. В данном исследовании выявлена статистически значимая положительная корреляция между МК и количеством ранних и оптимальных микроспор для сортов Фокс 1 и Golden Promise ($\rho = 0,5$, $p = 0,0002$ и $\rho = 0,43$, $p = 0,0018$ соответственно).

В ходе наблюдений за растениями отмечено, что изменчивость морфометрических параметров зависит также от номера колоса (продуктивного стебля). Известно, что одним из критических этапов развития *H. vulgare* является этап кущения, начало которого обычно совпадает с появлением третьего листа. При дальнейшем росте часть побегов разви-

вается нормально (особенно первые побеги), а другая часть из-за недостатка питательных веществ отмирает или остается бесплодной.

Ячмень расходует биоресурсы на формирование первых колосьев, что с высокой долей вероятности может определять вариацию морфометрических параметров в последующих продуктивных стеблях (рис. 5). Одним из непараметрических методов для визуализации распределения в наборе данных, аналогичный гистограмме, является ядерная оценка плотности, которая в случае морфометрического критерия указывает на высокую вариабельность показателя у второго (для сортов: Golden Promise, Леон и Фокс 1) или третьего (для сорта Ратник) колосьев, уменьшаясь у последующих продуктивных стеблей (рис. 5, а). Для длины колоса наблюдалась более высокая степень вариабельности у второго и последующих колосьев за исключением этого параметра у сорта Леон (рис. 5, б). При этом для сорта Леон наблюдалось уменьшение значения МК с увеличением номера колоса, что может быть связано с быстрым достижением оптимальной стадии микроспор при меньшем размере колоса.

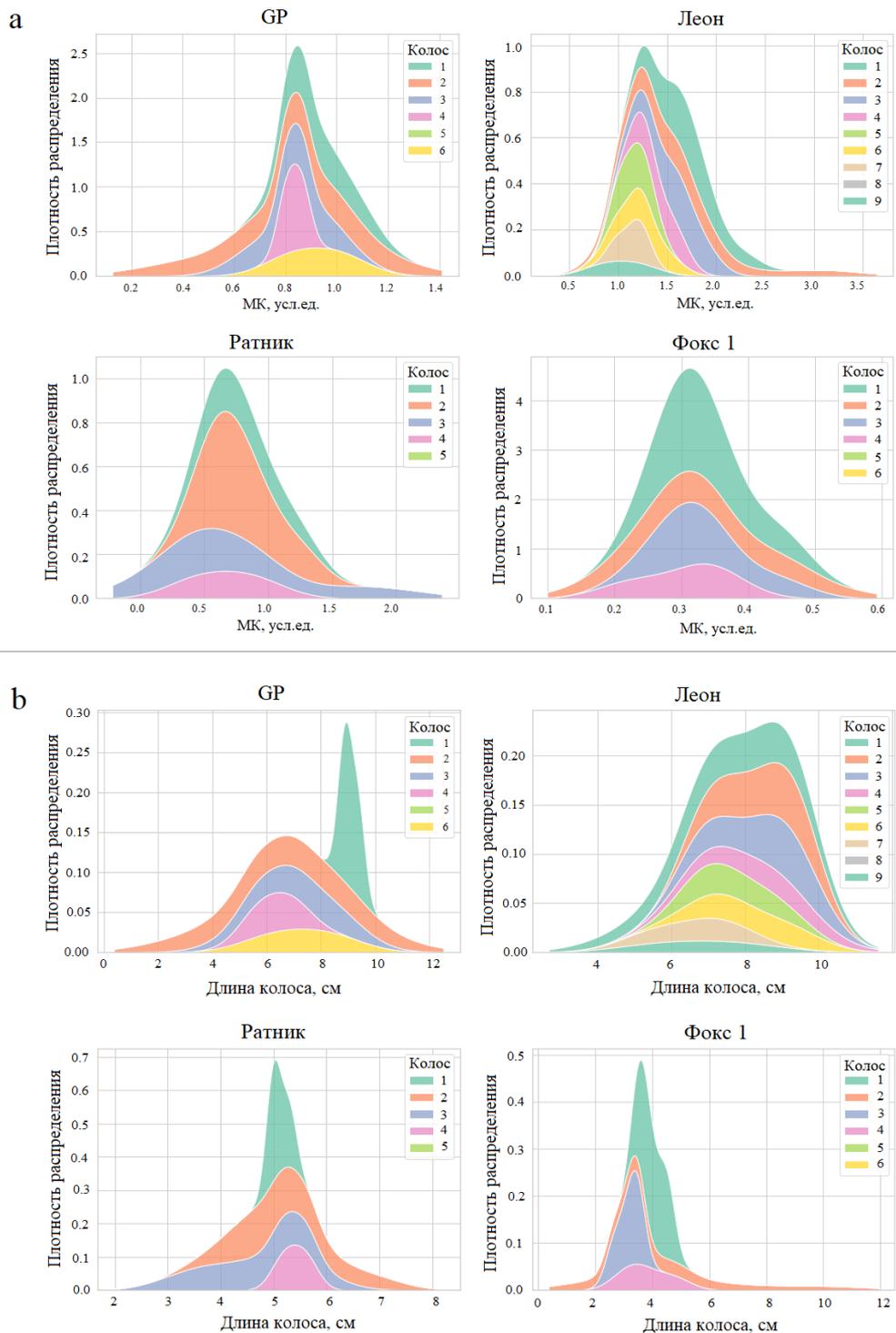


Рис. 5. Одномерное распределение данных морфометрических параметров с использованием ядерной оценки плотности (для колосьев с более 40 % микроспор на оптимальной стадии): а – морфометрический критерий (МК, усл. ед.); б – длина колоса (см)

Fig. 5. One-dimensional distribution of these morphometric parameters using a nuclear density estimation (for ears with more than 40% microspores at the optimal stage): а – Morphometric criterion (MC, conven. units); б – ear length (cm)

Выводы. При введении в биотехнологический процесс, в частности, в культуру пыльников или изолированных микроспор *in vitro*, различных сортов ячменя обыкновенного для отбора колосьев можно использовать морфометрический критерий, соответствующий отношению расстояния от основания

флагового листа до основания второго сверху листа к расстоянию от основания флагового листа до кончика находящегося в трубке колоса. С помощью данного параметра можно выявить колосья, содержащие большинство одноядерных сильновакуолизированных микроспор как инициальных клеток андроклинии

в пыльниках, не применяя (но не исключая) цитологические методы анализа. Однако следует помнить, что существует высокая межсортовая вариабельность. Кроме того, изученные в ходе данной работы параметры сильно взаимосвязаны с воздействием внешних (температура, влажность воздуха, полив и т. д.) и внутренних (главный колос или колос кущения, какой по счету колос кущения) факторов и могут отклоняться от заданных нормативов.

Благодарности. Авторы благодарят ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» и канд. с.-х. наук А. А. Донцову за предоставленные семена ячменя.

Финансирование. Результаты получены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2021-1068 от 28.09.2021).

Библиографические ссылки

1. Дьячук Т. И., Хомякова О. В., Акинина В. Н., Кибкало И. А., Поминов А. В. Микроспоровый эмбриогенез *in vitro* – роль стрессов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23, № 1. С. 86–94. DOI: 10.18699/VJ19.466
2. Круглова Н. Н., Никонов В. И. Морфометрический критерий оптимальной стадии развития пыльника при биотехнологических исследованиях яровой мягкой пшеницы // Вестник БГАУ. 2018. Т. 48, № 4. С. 34–39. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-48-4-34-39
3. Некрасова О. А., Калинина Н. В. Факторы, влияющие на процессы андрогенеза при культивировании пыльников пшеницы (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 3. С. 25–30. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-25-30
4. Han Y., Broughton S., Liu L., Zhang X., Zeng J., He X., Li Ch. Highly efficient and genotype-independent barley gene editing based on anther culture // Plant Communications. 2021. Vol. 2, Iss. 2. Article number: 100082. DOI: 10.1016/j.xplc.2020.100082
5. Ohnoutkova L., Vlcko T., Ayalew M. Barley Anther Culture. In: Harwood, W. (eds) Barley// Barley Methods in Molecular Biology. 2019. Vol. 1900. P. 37–52. DOI: 10.1007/978-1-4939-8944-7_4
6. Silva A.L. S. da, Moraes-Fernandes M.I., Ferreira A.G. Ontogenetic events in androgenesis of Brazilian barley genotypes // Rev. Bras. Biol. (Brazilian Journal of Biology) 2000. Vol. 60, Iss. 2. P. 315–319. DOI: 10.1590/S0034-71082000000200016
7. Watts A., Kumar V., Raipuria R.K., Bhattacharya R.C. In Vivo Haploid Production in Crop Plants: Methods and Challenges // Plant Molecular Biology Reporter. 2018. Vol. 36. P. 685–694. DOI: 10.1007/s11105-018-1132-9

References

1. D'yachuk T. I., Khomyakova O.V., Akinina V.N., Kibkalo I.A., Pominov A.V. Mikrosporoviy embriogenez *in vitro* – rol' stressov [Microspore embryogenesis in vitro, the role of stresses] // Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii. 2019. T. 23, № 1. S. 86–94. DOI: 10.18699/VJ19.466
2. Kruglova N.N., Nikonov V.I. Morfometricheskii kriterii optimal'noi stadii razvitiya pyl'nika pri biotekhnologicheskikh issledovaniyakh yarovoi myagkoi pshenitsy [Morphometric criterion for the optimal stage of anther development in biotechnological study of spring bread wheat] // Vestnik BGAU. 2018. T. 48, № 4. S. 34–39. DOI: 10.31563/1684-7628-2018-48-4-34-39
3. Nekrasova O.A., Kalinina N.V. Faktory, vliyayushchie na protsessy androgeneza pri kul'tivirovanii pyl'nikov pshenitsy (obzor) [Factors influencing upon the processes of androgenesis during the cultivation of wheat anthers (review)] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 3. S. 25–30. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-25-30
4. Han Y., Broughton S., Liu L., Zhang X., Zeng J., He X., Li Ch. Highly efficient and genotype-independent barley gene editing based on anther culture // Plant Communications. 2021. Vol. 2, Iss. 2. Article number: 100082. DOI: 10.1016/j.xplc.2020.100082
5. Ohnoutkova L., Vlcko T., Ayalew M. Barley Anther Culture. In: Harwood, W. (eds) Barley// Barley Methods in Molecular Biology. 2019. Vol. 1900. P. 37–52. DOI: 10.1007/978-1-4939-8944-7_4
6. Silva A.L. S. da, Moraes-Fernandes M.I., Ferreira A.G. Ontogenetic events in androgenesis of Brazilian barley genotypes // Rev. Bras. Biol. (Brazilian Journal of Biology) 2000. Vol. 60, Iss. 2. P. 315–319. DOI: 10.1590/S0034-71082000000200016
7. Watts A., Kumar V., Raipuria R.K., Bhattacharya R.C. In Vivo Haploid Production in Crop Plants: Methods and Challenges // Plant Molecular Biology Reporter. 2018. Vol. 36. P. 685–694. DOI: 10.1007/s11105-018-1132-9

Поступила: 23.08.23; доработана после рецензирования: 18.09.23; принята к публикации: 26.09.23.

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. Бондаренко Е. В. – концептуализация и ресурсное обеспечение исследования; Блинова Я. А., Бабина Д. Д., Ханова А. С., Король М. Ю. – подготовка и выполнение экспериментальных работ и сбор данных; Блинова Я. А., Король М. Ю., Бондаренко Е. В. – анализ данных и их интерпретация; Блинова Я. А., Бондаренко Е. В. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВКЛАД ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ В ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ

И. А. Лобунская, агроном лаборатории клеточной селекции, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

В. Л. Газе, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

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

Н. В. Яновская, агроном лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

Е. Ю. Черпакова, агроном лаборатории клеточной селекции, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В данной работе представлены экспериментальные результаты оценки влияния влагообеспеченности на продуктивность и элементы структуры урожайности сортов озимой пшеницы. Изучалось 11 сортов озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Цель исследований – определение влияния различной влагообеспеченности почвы на величину урожайности и элементов структуры озимой пшеницы. Сорты протестированы в лабораторных условиях методом имитации почвенной засухи (раствор сахарозы – с осмотическим давлением 16 атмосфер), а также на вегетационной площадке «засушник» с оптимальным и недостаточным увлажнением. При определении потенциальной засухоустойчивости по показателю «всхожесть семян» изучаемые сорта были распределены по трем группам устойчивости. К высоко засухоустойчивым относятся сорта Аюта (83,3 %) и Вольница (82,1 %), достоверно превысившие стандарт Дон 107 (70,3 %) ($НСР_{05} \pm 6,0$ %). Оценка сортов в контрастных по влагообеспеченности условиях позволила выявить стабильные признаки урожайности, такие как длина колоса, количество и масса зерен с главного колоса, масса 1000 зерен. Высокие значения депрессии в условиях засухи наблюдались по урожайности (31,6 %) и массе зерна с главного колоса (26,4 %), низкие – по продуктивному стеблестою, длине колоса и массе 1000 зерен (6,5; 7,0; 12,0 % соответственно). Установлена корреляционная связь между лабораторной и вегетационной оценкой опыта. Коэффициент корреляции между устойчивостью к недостатку влаги в почве (число всхожих семян) и степенью депрессии показателей урожайности (количество продуктивных стеблей, длина колоса, количество зерен, масса зерна с главного колоса и масса 1000 семян) составил от 0,32 до 0,98. Выделены сорта Жаворонок, Полина, Премьера и Подарок Крыму, сочетающие лабораторную устойчивость к засухе с комплексом признаков продуктивности.

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, засухоустойчивость, урожайность, степень депрессии.

Для цитирования: Лобунская И. А., Газе В. Л., Костылев П. И., Яновская Н. В., Черпакова Е. Ю., Иванисов М. М. Вклад элементов структуры урожая в формирование продуктивности озимой пшеницы при различной влагообеспеченности // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 36–42. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-36-42.



CONTRIBUTION OF YIELD STRUCTURE ELEMENTS TO THE WINTER WHEAT PRODUCTIVITY FORMATION AT DIFFERENT MOISTURE AVAILABILITY

I. A. Lobunskaya, agronomist of the laboratory for cell breeding, lobunskaya95@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

V. L. Gaze, junior researcher of the laboratory for cell breeding, l.fiziologii@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125;

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;

N. V. Yanovskaya, agronomist of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

E. Yu. Cherpakova, agronomist of the laboratory for cell breeding, elena123089@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

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

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The current paper has presented the experimental results of estimating the influence of moisture availability on productivity and yield structure elements of the winter wheat varieties. There have been studied 11 winter common wheat varieties of a semi-intensive type developed in the FSBSI "ARC "Donskoy". The purpose of the study was to determine the influence of different soil moisture levels on the yield and its structural elements of winter wheat. The varieties were tested in laboratory conditions by simulating soil drought (sucrose solution was with an osmotic pressure of 16 atmospheres), as well as on a vegetation plot "zasushnik" with optimal and insufficient moisture. When determining potential drought resistance based on the 'seed germination' indicator, the studied varieties were divided into three resistance groups. The varieties 'Ayuta' (83.3 %) and 'Volnitsa' (82.1 %) were highly drought-resistant, which significantly exceeded the standard variety 'Don 107' (70.3 %) ($HCP_{05} \pm 6.0$ %). The estimation of varieties in contrasting moisture conditions made it possible to identify stable yield traits, such as 'length of a head', 'number of grains per main head' and 'grain weight per main head', and '1000-grain weight'. High depression values under drought conditions were established according to 'number of productive stems', 'length of a head' and '1000-grain weight' (6.5; 7.0; 12.0 %, respectively). There has been found a correlation between the laboratory and vegetation estimation of the trial. The correlation coefficient between resistance to lack of moisture in soil (number of viable seeds) and a depression degree of yield indicators ('number of productive stems', 'length of a head', 'number of grains per main head', 'grain weight per main head', '1000-grain weight') ranged from 0.32 to 0.98. There have been identified the varieties 'Zhavoronok', 'Polina', 'Premiera' and 'Podarok Krymu', combining laboratory drought resistance with a complex of productivity traits.

Keywords: winter wheat, variety, drought resistance, yield, productivity, depression degree.

Введение. Сельскохозяйственное производство в России связано с рядом абиотических стрессов. Засуха является одним из наиболее распространенных разрушительных в глобальном масштабе стресс-факторов, влияющих на рост и развитие растений. Это явление не просто дефицит влаги, а сложная комбинация недостатка воды в почве, высоких температур воздуха, суховеев и других абиотических и биотических факторов (Журавлева и Фурсова, 2016).

В связи с изменением климата последствием глобального потепления является увеличение размера площадей, на которых растения подвергаются воздействию дефицита влаги. Недостаточная влагообеспеченность растений от фазы цветения до полной спелости влияет на многочисленные морфологические и физиологические процессы, приводящие к снижению урожайности. Это явление продолжает оставаться серьезной проблемой для исследователей в области сельского хозяйства. В зависимости от климатических условий урожайность сортов в зонах устойчивого увлажнения колеблется в 2–3 раза и в 5–6 раз в зонах неустойчивого увлажнения (Амунова и Тиунова, 2018).

Озимая мягкая пшеница является достаточно засухоустойчивой благодаря хорошо развитой корневой системе. Вместе с тем, недостаток влаги в каждый из периодов развития растения (всходы, кущение, период от выхода в трубку до колошения, налив зерна) приводит к замедлению темпа процессов морфогенеза и снижению урожая за счет уменьшения длины колоса, количества зерен в колосе, массы 1000 зерен (Волкова и Амунова, 2022; Ivanisov at al., 2023).

При селекции на засухоустойчивость на первых этапах развития важно выявить растения, способные экономно использовать влагу в условиях ее недостатка (Сухоруков и Сухоруков, 2017; Sallam at al., 2019).

На сегодняшний день внедрение в производство засухоустойчивых сортов является од-

ним из главных средств в борьбе с засухой (Газе и др., 2022). Существует ряд признаков, позволяющих проводить оценку засухоустойчивости по развитию корневой системы, площади листового аппарата, содержанию пигмента хлорофилла в растении, водоудерживающей способности листьев, интенсивности транспирации и др. (Sattar at al., 2020; Selim at al., 2019).

Для сокращения селекционного процесса определение относительной засухоустойчивости проводится с помощью лабораторных физиологических методов оценки (Елисеева и др., 2016). Устойчивость к засухе определяют как способность семян прорасти в осмотических растворах (имитация почвенной засухи). Сорта, способные формировать более развитую первичную корневую систему в условиях недостатка влаги, в последующем характеризуются как засухоустойчивые в полевых условиях (Газе и др., 2022).

Одним из главных критериев при выборе засухоустойчивых форм являются урожайность и стабильность формирования всех элементов структуры в условиях абиотического стресса.

Цель исследований – определение влияния различной влагообеспеченности почвы на величину урожайности и элементов структуры озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований.

Объектом исследований послужили 11 образцов озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Опыты были проведены в 2020–2022 гг. в лаборатории клеточной селекции.

Для определения лабораторной засухоустойчивости озимой пшеницы использовали методику Н.Н. Кожушко в изложении Г.В. Удовенко (1988).

Изучение сортов на засухоустойчивость проводили в условиях моделированной засухи по методике В.В. Маймистова (1988). Растения выращивали на засушнике в деревянных ящиках (2×4×0,7 м) с почвой в условиях различной степени влагообеспеченности (рис. 1).

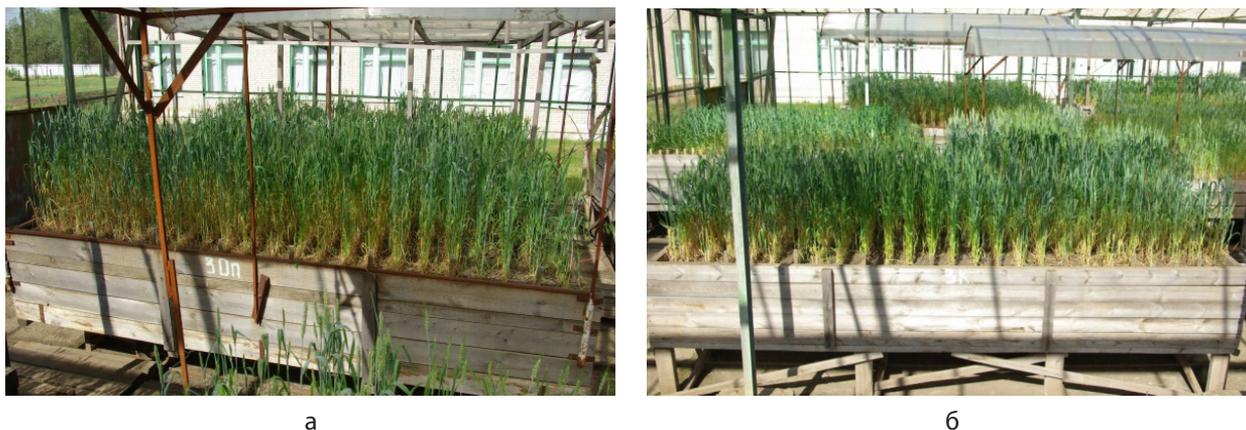


Рис. 1. Вегетационный опыт выращивания сортов пшеницы в условиях засухи и оптимального увлажнения: а – засуха (30 % ПВ), б – полив (70 % ПВ)

Fig. 1. Vegetative experiment of growing wheat varieties under drought and optimal moisture: a – drought (30 % PV), b – watering (70 % PV)

Образцы до наступления фенологической фазы выхода в трубку выращивали в идентичных условиях, затем опытный вариант – без доступа влаги (засуха – 30 % ПВ), а контрольный вариант при регулярном орошении (полив – 70 % ПВ).

Математическую обработку результатов производили по методам в изложении Б.А. Доспехова (2014) с использованием программ Excel и Statistica 10. Фенологические наблюдения – по методу Ф.М. Куперман. Структурный анализ растений – по методи-

ке Государственного сортоиспытания. Масса 1000 зерен – ГОСТ 12042-80.

Результаты и их обсуждение. Одним из главных этапов селекции является первоначальная оценка сортов на устойчивость к засухе для выбора лучшего исходного материала.

Определение засухоустойчивости сортов озимой мягкой пшеницы проводили в начальной стадии развития растений на растворах осмотиков (Газе и др., 2022). Значения засухоустойчивости сортов варьировали от 55,3 (Аскет) до 85,6 % (Полина) (рис. 2).

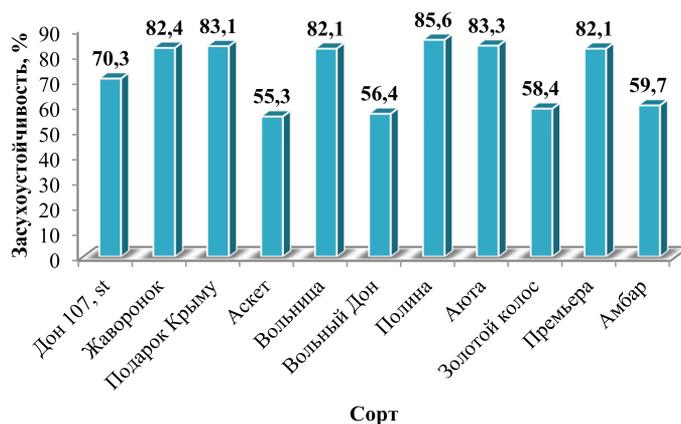


Рис. 2. Засухоустойчивость сортов озимой мягкой пшеницы по всхожести семян на растворе осмотика (2020–2022 гг.)

Fig. 2. Drought resistance of winter common wheat varieties based on seed germination in an osmotic solution (2020–2022)

По полученным экспериментальным результатам сорта были разделены на 2 группы устойчивости: 1) высоко засухоустойчивые (70–100 %); 2) среднеустойчивые (40–69 %). Высокая всхожесть семян при осмотическом стрессе давлением 16 атмосфер была отмечена у сортов Полина (85,6 %), Аюта (83,3 %), Подарок Крыму (83,1 %), Жаворонок (82,4 %), Вольница и Премьера (по 82,1 %), достоверно превысивших стандарт Дон 107 (70,3 %) ($НСР_{05} \pm 6,0$ %).

Сорта с высокой всхожестью при дефиците влаги характеризуются способностью переносить неблагоприятные условия среды, связанные с недостатком поступления воды в клетки растений за счет более высокой поглотительной способности семян, обусловленной генетическими факторами.

Практическая селекция направлена в первую очередь на создание сортов с физиологической засухоустойчивостью и высокой продуктивностью. Из этого следует, что при изучении

устойчивости к засухе необходимо сделать акцент на основные признаки, определяющие формирование урожая в условиях недостаточного увлажнения (Самофалов и др., 2023).

Величина урожайности сорта обуславливается потенциальной продуктивностью

и напрямую зависит от условий выращивания. В условиях модельной засухи изучаемые сорта озимой пшеницы неодинаково реагировали на действие стресса. Результаты структурного анализа сортов озимой пшеницы полуинтенсивного типа приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели структуры урожая озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа в условиях модельной засухи (2020–2022 гг.)

Table 1. Indicators of the yield structure of winter common wheat of a semi-intensive type under simulating drought conditions (2020–2022)

Сорта	Продуктивный стеблестой, шт./м ²			Длина колоса, см			Число зерен с главного колоса, шт.			Масса зерна с главного колоса, г			Масса 1000 зерен, г		
	засуха	оптимальное увлажнение	соотношение засухи к оптимальным условиям	засуха	оптимальное увлажнение	соотношение засухи к оптимальным условиям	засуха	оптимальное увлажнение	соотношение засухи к оптимальным условиям	засуха	оптимальное увлажнение	соотношение засухи к оптимальным условиям	засуха	оптимальное увлажнение	соотношение засухи к оптимальным условиям
Дон 107, st	298	325	91,7	5,6	6,0	93,3	25	27	92,6	0,82	1,02	80,4	32,7	37,8	86,5
Жаворонок	269	289	93,1	5,2	5,5	94,5	26	27	96,3	0,97	1,2	80,8	37,4	44,5	84,0
Подарок Крыму	277	281	98,6	5,1	5,7	89,5	23	26	88,5	0,85	1,07	79,4	36,8	41,3	89,1
Аскет	281	303	92,7	5,1	5,9	86,4	26	31	83,9	0,87	1,22	71,3	33,4	39,4	84,8
Вольница	275	301	91,4	5,5	6,0	91,7	20	25	80,0	0,74	1,10	67,3	37,0	43,8	84,5
Вольный Дон	282	328	86,0	6,1	6,2	98,4	25	29	86,2	0,81	1,15	70,4	32,4	39,7	81,6
Полина	266	275	96,7	6,4	6,6	97,0	28	30	93,3	0,86	1,10	78,2	30,8	36,5	84,4
Аюта	293	306	95,8	6,0	6,8	92,3	24	29	82,8	0,85	1,22	69,7	35,6	42,1	84,6
Золотой колос	284	299	95,0	6,8	7,5	90,7	25	29	86,2	0,76	1,10	69,1	30,5	38,0	80,3
Премьера	258	273	94,5	6,8	7,2	94,4	27	29	93,1	0,99	1,33	74,4	36,5	45,9	79,5
Амбар	290	310	93,5	5,8	6,1	95,1	23	27	85,2	0,70	1,02	68,6	30,4	37,8	80,4
НСР₀₅	39,5	22,7	–	0,6	0,7	–	4,3	4,7	–	0,15	0,21	–	0,65	0,93	–

Продуктивный стеблестой сортов озимой пшеницы в опыте находился в пределах от 258 (Премьера) до 298 шт./м² (Дон 107). Достоверное превышение стандартного сорта Дон 107 не зафиксировано. Наибольшее количество продуктивных стеблей сформировали в условиях засухи сорта Аюта (293 шт./м²) и Амбар (290 шт./м²). В условиях оптимального увлажнения значения продуктивного стеблестоя варьировали от 273 (Премьера) до 328 шт./м² (Вольный Дон). По данному признаку соотношение засухи к оптимальным условиям было незначительным и составило от 1,4 до 14 %.

С наступлением возобновления весенней вегетации идет формирование колоса растений. Условия выращивания оказывают значительное влияние на формирование длины колоса. Длина колоса у сортов в засушливых условиях составила от 5,1 до 6,8 см, а в оптимальных – от 5,5 до 7,5 см. Наиболее существенное увеличение данного признака как в опыте, так и контроле по сравнению со стандартом Дон 107 (5,6 см) отмечено у сортов Золотой колос (6,8 и 7,5 см) и Премьера (6,8 и 7,2 см) (НСР₀₅ в опыте – 0,6 см, в контроле – 0,7 см).

Число зерен в колосе представляет значительный интерес для селекции. В условиях недостаточного увлажнения число зерен с главного колоса у сортов находилось в пределах от 20 (Вольница) до 28 шт. (Полина), а при оптимальном увлажнении – от 25 (Вольница) до 31 шт.

(Аскет). Все изучаемые сорта по этому показателю находились на уровне и ниже стандарта Дон 107 (25 и 27 шт.). Наименьшее снижение числа зерен в опыте по сравнению с контролем отмечено у сортов Жаворонок (на 3,7 %), Полина (на 6,7 %) и Премьера (6,9 %).

Масса зерна с главного колоса является одним из важнейших элементов структуры урожая, который показывает потенциал накопления ассимилятов. В наших исследованиях в условиях модельной засухи величина массы зерна с колоса варьировала от 0,70 (Амбар) до 0,97 г (Жаворонок), а при оптимальном увлажнении – от 1,02 (Амбар) до 1,33 г (Премьера). Достоверное превышение этих значений над стандартным сортом Дон 107 как при засухе, так при оптимальном увлажнении отмечено у сорта Премьера (0,99 и 1,33 г соответственно).

По массе 1000 зерен в условиях модельной засухи достоверное превышение стандарта Дон 107 (32,7 г) зафиксировано у сортов Жаворонок (37,4 г), Подарок Крыму (36,8 г), Вольница (37,0 г), Аюта (35,6 г) и Премьера (35,6 г). Сорта Аскет и Вольный Дон имели значения массы 1000 зерен на уровне стандарта. В контрольном варианте достоверное превышение массы 1000 зерен над стандартом Дон 107 (37,8 г) отмечено у сортов Премьера (45,9 на 8,1 г), Жаворонок (44,5 на 6,7 г), Вольница (43,8 на 6,0 г), Аюта (42,1 на 4,3 г) и Подарок Крыму (41,3 на 3,5 г).

Продуктивность – результирующий показатель нормального функционирования всех систем растения при засухе. Значения урожайности сортов в обычных условиях варьиро-

вали от 279,2 до 369,9 г/м². В условиях засухи урожайность зерна этих же сортов находилась в пределах 185,2–251,2 г/м² (рис. 3).

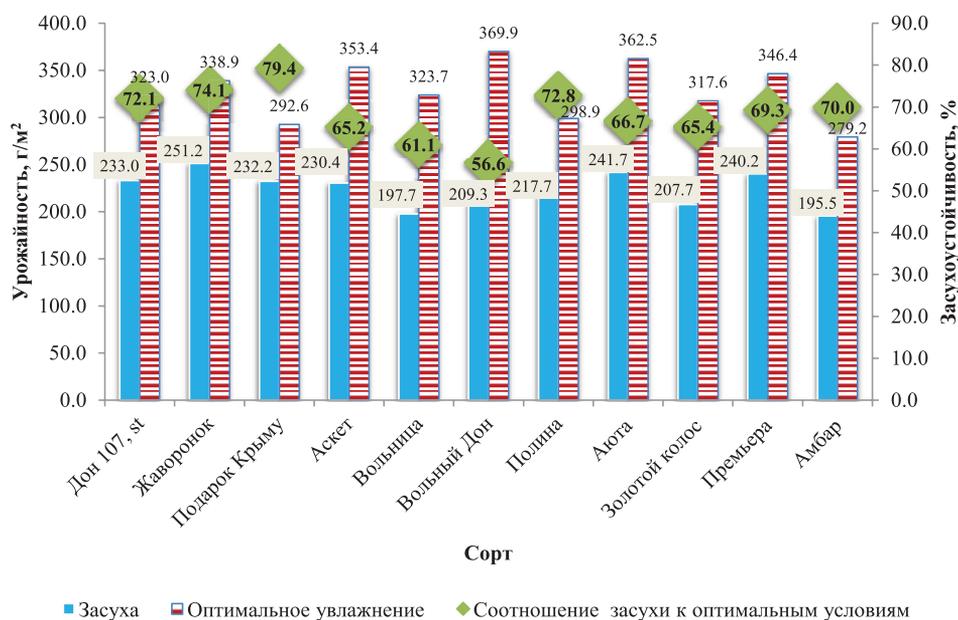


Рис. 3. Изменение урожайности сортов озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа в условиях модельной засухи (2020–2022 гг.)

Fig. 3. Change in productivity of winter common wheat of a semi-intensive type under simulating drought conditions (2020–2022)

В острозасушливых условиях максимальную урожайность сформировали сорта Жаворонок (251,2 г/м²), Аюта (241,7 г/м²) и Премьера (240,2 г/м²), достоверно превысившие стандартный сорт Дон 107 ($НСР_{05} = \pm 5,8$ г/м²). Сорта Подарок Крыму и Аскет по урожайности были на уровне стандарта. Наименьшее снижение урожайности в опыте по сравнению с контролем отмечено у сортов Подарок Крыму (79,4 на 20,6%) и Жаворонок (74,1 на 25,9%). Составляющие показатели структуры урожая находятся в корреляционной связи, как между собой, так и с урожайностью зерна.

В результате наших исследований в условиях засухи установлены средние положительные связи урожайности с числом зерен в колосе ($r = 0,62 \pm 0,26$) и массой 1000 зерен ($r = 0,45 \pm 0,30$) и сильная связь с массой зерна с главного колоса ($r = 0,95 \pm 0,09$).

Корреляционный анализ в условиях оптимального увлажнения выявил положительные связи урожайности: сильная – с массой зерна с главного колоса ($r = 0,73 \pm 0,22$), средняя – с густотой продуктивного стеблестоя ($r = 0,52 \pm 0,28$), количеством ($r = 0,49 \pm 0,29$) и массой 1000 зерен ($r = 0,35 \pm 0,31$).

Также был проведен анализ взаимосвязи лабораторной засухоустойчивости и соотношения показателей продуктивности при оптимальной влагообеспеченности и засушливыми условиями. Установлены сильная положительная связь с длиной колоса ($r = 0,98 \pm 0,07$) и средние с продуктивным стеблестоем ($r = 0,53 \pm 0,28$), массой зерна с главного колоса ($r = 0,46 \pm 0,30$), массой 1000 зерен ($0,40 \pm 0,30$) и числом зерен ($r = 0,34 \pm 0,31$).

Влияние засухи (депрессия) на формирование элементов структуры урожая показано в таблице 2.

Таблица 2. Депрессия элементов структуры урожая озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа в условиях модельной засухи (2020–2022 гг.), %
Table 2. Depression of the yield structure elements of winter common wheat of a semi-intensive type under simulating drought conditions (2020–2022), %

Образцы	Продуктивный стеблестой	Длина колоса	Число зерен с главного колоса	Масса зерна с главного колоса	Масса 1000 зерен	Урожайность
Дон 107, st	8,3	6,7	7,4	19,6	13,5	27,9
Жаворонок	6,9	5,5	3,7	19,2	16,0	25,9
Подарок Крыму	1,4	10,5	11,5	20,6	10,9	20,6
Аскет	7,3	13,6	16,1	28,7	15,2	34,8
Вольница	8,6	8,3	20,0	32,7	15,5	38,9
Вольный Дон	14,0	1,6	13,8	29,6	18,4	43,4
Полина	3,3	3,0	6,7	21,8	15,6	27,2

Продолжение табл. 2

Образцы	Продуктивный стеблестой	Длина колоса	Число зерен с главного колоса	Масса зерна с главного колоса	Масса 1000 зерен	Урожайность
Аюта	4,2	7,7	17,2	30,3	15,4	33,3
Золотой колос	5,0	9,3	13,8	30,9	19,7	34,6
Премьера	5,5	5,6	6,9	25,6	20,5	30,7
Амбар	6,5	4,9	14,8	31,4	19,6	30,0
Общее снижение депрессии	6,5	7,0	12,0	26,4	16,4	31,6

По изменению густоты продуктивного стеблестоя трудно судить о засухоустойчивости, так как общее снижение было незначительным – 6,5 %. По различным сортам степень депрессии варьировала от 1,4 до 14,0 %.

Депрессия длины колоса в засушливых условиях по сортам находилась в пределах 1,6–13,6 %, а общее снижение было несущественным – 7,0 %.

По признаку «озерненность колоса» наблюдалось наибольшее варьирование степени депрессии – от 3,7 до 20,0 %. Следует отметить сорта с максимальной озерненностью колоса в сочетании с наименьшей степенью депрессии данного признака – Жаворонок (26 шт. и 3,7 %), Полина (28 шт. и 6,7 %) и Премьера (27 шт. и 6,9 %).

Реакция сортов на стресс оказалась более высокой по признакам массы зерна с главного колоса и массы 1000 зерен, общая депрессия составила 26,4 и 16,4 % соответственно. Наименьшее снижение величин данных признаков в условиях недостатка влаги зафиксировано у сортов Жаворонок (19,2 и 16,0 %) и Подарок Крыму (20,6 и 10,9 %). Общее снижение урожайности составило 31,6 % с варьированием по сортам от 20,6 до 43,4 %.

Выводы. В ходе проведенных исследований выявлены статистически значимые разли-

чия по урожайности, длине колоса, числу и массе зерен с главного колоса и массе 1000 зерен. В период исследований установлена сильная положительная корреляционная связь между урожайностью и массой зерна с главного колоса ($r = 0,95 \pm 0,09$), средние положительные связи с числом зерен в колосе ($r = 0,62 \pm 0,26$) и массой 1000 зерен ($r = 0,45 \pm 0,30$).

Весомый вклад в повышение урожайности сортов озимой мягкой пшеницы в условиях недостаточной влагообеспеченности вносят такие элементы структуры, как масса 1000 семян, число семян и масса семян с главного колоса. Изучение сортов озимой пшеницы в контрастных по влагообеспеченности условиях позволило выделить формы, имеющие высокие значения по комплексу признаков в сочетании с наименьшей степенью депрессии:

– по длине колоса – Премьера (6,8 см; 5,5 %), Полина (6,4 см; 3,3 %), Амбар (5,8 см; 6,5 %) и Жаворонок (5,2 см; 6,9 %);

– по числу зерен в колосе – Полина (28 шт.; 6,7 %), Премьера (27 шт.; 6,9 %), Жаворонок (26 шт.; 3,7 %);

– по массе зерна с главного колоса – Жаворонок (0,97 г; 19,2 %), Подарок Крыму (0,87 г; 20,6 %) и Полина (0,86 г; 21,8 %);

– по массе 1000 – Подарок Крыму (36,8 г; 10,9 %) и Жаворонок (37,4 г; 16,0 %).

Библиографические ссылки

1. Амунова О.С., Тиунова Л.Н. Генетическое разнообразие мягкой яровой пшеницы по устойчивости к ранней засухе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 1(62). С. 32–37. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.32-37
2. Волкова Л.В., Амунова О.С. Результаты оценки сортов яровой мягкой пшеницы различных агроэкотипов по признакам засухоустойчивости и донорским свойствам // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. Вып. 1. С. 27–42. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-1-27-42
3. Газе В.Л., Лобунская И.А., Костылев П.И., Филиппов Е.Г. Оценка засухоустойчивости образцов ярового ячменя в начальный период развития на растворе осмотиков // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 15, № 4. С. 34–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-34-38
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Елисеев С.Л., Яркова Н.Н., Ашихмин Н.В., Батуева И.В. Изменение лабораторной всхожести семян зерновых культур в зависимости от метеорологических и агротехнических условий // Пермский аграрный вестник. 2016. № 1(13). С. 3–7.
6. Журавлева Е.В., Фурсов С.В. Засуха как один из факторов риска в экономике растениеводства Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 9. С. 88–90.
7. Маймистов В.В., Осипов Ю.Ф., Чумаковский Н.Н., Евтушенко Ю.В. Ускоренная оценка засухоустойчивости селекционного материала // Селекция и семеноводство. 1988. № 3. С. 23–25.
8. Самофалов А.П., Подгорный С.В., Скрипка О.В., Громова С.Н., Чернова В.Л. Изменение урожайности и составляющих ее элементов структуры мягкой озимой пшеницы в зависимости от условий влагообеспеченности и генотипа // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91
9. Сухоруков А.Ф., Сухоруков А.А. Селекция озимой пшеницы на засухоустойчивость в Среднем Поволжье // Аграрная наука. 2017. № 5. С. 15–18.
10. Удовенко, Г.В. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Л.: ВИР, 1988. 228 с.

11. Ivanisov M., Marchenko D., Shishkin N., Gaze V. Productivity and resistance to stress factors of winter wheat varieties bred by ARC «Donskoy» // E3S Web of Conferences INTERAGROMASH. 2023. Vol. 413, Article number: 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301006
12. Sattar A., Sher A., Ijaz M., Ul-Allah S., Rizwan M. S., Hussain M., Jabran K., Cheema A. M. Terminal drought and heat stress alter physiological and biochemical attributes in flag leaf of bread wheat // Plos one. 2020. № 15(5), Article number: e0232974. DOI: 10.1371/journal.pone.0232974
13. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F A, Baenziger P S., Börner A. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20(13), Article number: 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137
14. Selim D. A-F. H., Nassar R. M., Boghdady M. S., Bonfill M. Physiological and anatomical studies of two wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions // Plant physiology and biochemistry. 2019. № 135. С. 480–488. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.012

References

1. Amunova O.S., Tiunova L.N. Geneticheskoe raznoobrazie myagkoi yarovoi pshenitsy po ustoichivosti k rannei zasukhe [Genetic diversity of spring common wheat according to early drought resistance] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. № 1(62). С. 32–37. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.32-37
2. Volkova L.V., Amunova O.S. Rezul'taty otsenki sortov yarovoi myagkoi pshenitsy razlichnykh agroekotipov po priznakam zasukhoustoichivosti i donorskim svoistvam [Estimation results of spring common wheat varieties of various agroecotypes for drought resistance and donor properties] // Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoy akademii. 2022. Vyp. 1. С. 27–42. DOI: 10.26897/0021-342X-2022-1-27-42
3. Gaze V.L., Lobunskaya I.A., Kostylev P. I., Filippov E. G. Otsenka zasukhoustoichivosti obraztsov yarovogo yachmenya v nachal'nyi period razvitiya na rastvore osmotikov [Estimation of drought resistance of spring barley samples in the initial period of development on an osmotic solution] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. Т. 15, № 4. С. 34–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-34-38
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. Eliseev S.L., Yarkova N.N., Ashikhmin N.V., Batueva I.V. Izmenenie laboratornoi vskhozhesti semyan zernovykh kul'tur v zavisimosti ot meteorologicheskikh i agrotekhnicheskikh uslovii [Change in laboratory germination of grain seeds depending on meteorological and agrotechnical conditions] // Permskii agrarnyi vestnik. 2016. № 1 (13). С. 3–7.
6. Zhuravleva E.V., Fursov S.V. Zasukha kak odin iz faktorov riska v ekonomike rastenievodstva Rossiiskoi Federatsii [Drought as one of the risk factors in the economics of crop production in the Russian Federation] / Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. Т. 30, № 9. С. 88–90.
7. Maimistov V.V., Osipov Yu. F., Chumakovskii N.N., Evtushenko Yu. V. Uskorennaya otsenka zasukhoustoichivosti selektsionnogo materiala [Accelerated estimation of drought resistance of breeding material] // Seleksiya i semenovodstvo. 1988. № 3. С. 23–25.
8. Samofalov A.P., Podgornyi S.V., Skripka O.V., Gromova S.N., Chernova V.L. Izmenenie urozhainosti i sostavlyayushchikh ee elementov struktury myagkoi ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot uslovii vlagobespechennosti i genotipa [Changes in yield and its structure elements of winter common wheat depending on moisture conditions and a genotype] // Agrarnaya nauka. 2023. № 7. С. 85–91. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-85-91
9. Sukhorukov A. F., Sukhorukov A. A. Seleksiya ozimoi pshenitsy na zasukhoustoichivost' v Srednem Povolzh'e [Winter wheat breeding for drought resistance in the Middle Volga region] // Agrarnaya nauka. 2017. № 5. С. 15–18.
10. Udovenko, G.V. Diagnostika ustoichivosti rastenii k stressovym vozdeistviyam: metodicheskoe rukovodstvo [Diagnosics of plant resistance to stress: methodological recommendations]. L.: VIR, 1988. 228 s.
11. Ivanisov M., Marchenko D., Shishkin N., Gaze V. Productivity and resistance to stress factors of winter wheat varieties bred by ARC «Donskoy» // E3S Web of Conferences INTERAGROMASH. 2023. Vol. 413, Article number: 01006. DOI: 10.1051/e3sconf/202341301006
12. Sattar A., Sher A., Ijaz M., Ul-Allah S., Rizwan M. S., Hussain M., Jabran K., Cheema A. M. Terminal drought and heat stress alter physiological and biochemical attributes in flag leaf of bread wheat // Plos one. 2020. № 15(5), Article number: e0232974. DOI: 10.1371/journal.pone.0232974
13. Sallam A., Alqudah A. M., Dawood M. F A, Baenziger P S., Börner A. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research // International Journal of Molecular Sciences. 2019. Vol. 20(13), Article number: 3137. DOI: 10.3390/ijms20133137
14. Selim D. A-F. H., Nassar R. M., Boghdady M. S., Bonfill M. Physiological and anatomical studies of wo wheat cultivars irrigated with magnetic water under drought stress conditions // Plant physiology and biochemistry. 2019. № 135. С. 480–488. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.11.012

Поступила: 01.11.23; доработана после рецензирования: 13.11.23; принята к публикации: 17.11.23.

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. Лобунская И. А., Газе В. Л. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Костылев П. И. – общее руководство и финальная доработка текста; Яновская Н. В., Черпакова Е. Ю. – проведение лабораторных и вегетационного опытов; Иванисов М. М. – концептуализация исследования.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Y(II) и NPQ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФОТОСИНТЕЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ ЯЧМЕНЯ

Ю. А. Немцова¹, лаборант кафедры биофизики, julnemtcova@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0003-4654-2999;

Д. В. Кузнецова¹, младший научный сотрудник кафедры биофизики, kuznetsova.dar0@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9854-3457;

М. А. Гринберг¹, младший научный сотрудник лаборатории радиобиологии, mag1355@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6069-0400;

В. А. Воденев¹, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой биофизики, v.vodeneev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3726-5577;

А. А. Донцова², кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

Д. П. Донцов², кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

В. С. Бондаренко³, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела радиационных и генетических технологий в растениеводстве, bvs79@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6413-9699;

П. Ю. Волкова⁴, доктор биологических наук, volkova.obninsk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2824-6232;

Е. В. Бондаренко³, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела радиационных и генетических технологий в растениеводстве, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824

¹ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского»,

603022, Нижегородская обл., г. Нижний Новгород, пр-т Гагарина, д. 23;

²ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

³ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»,

249035, Калужская область, г.о. Обнинск, г. Обнинск, Киевское шоссе, д. 1, корп. 1;

⁴Независимый исследователь, Бельгия,

2440, провинция Антверпен, г. Гел, ул. Бюргстраат, д. 46-3

Целью настоящей работы являлся поиск фотосинтетических показателей-предикторов устойчивости к засухе у растений ячменя, определяемых на ранних стадиях развития, и верификация полученных результатов в полевых условиях. Исследования проводили на ячмене сортов Леон, Ратник и Фокс 1, используемых в мутационной селекции для создания засухоустойчивых генотипов. Засуха моделировалась прекращением полива, устойчивость растений оценивалась по изменениям показателей флуоресценции хлорофилла (F_v/F_m , Y(II), NPQ) и морфометрических показателей (длина листьев, сырая и сухая масса) по сравнению с контрольной группой с нормальным водообеспечением. В бесстрессовых условиях растения сорта Леон демонстрировали статистически значимо меньшую эффективность фотосинтеза по параметрам Y(II) и F_v/F_m ($0,535 \pm 0,005$ и $0,776 \pm 0,004$ соответственно) в сравнении с другими сортами ($0,577 \pm 0,005$ и $0,788 \pm 0,001$ – для сорта Фокс 1; $0,574 \pm 0,004$ и $0,787 \pm 0,001$ – для сорта Ратник). При моделировании засухи отмечено снижение всех морфометрических показателей относительно контроля для всех сортов с наибольшей степенью угнетения для сорта Ратник ($70,16 \pm 3,88$ %; $8,09 \pm 0,73$ %; $68,50 \pm 4,42$ % для длины листьев, сырой и сухой массы соответственно) и наименьшей – для сорта Леон ($88,06 \pm 7,83$ %; $26,51 \pm 7,11$ %; $79,32 \pm 11,17$ % соответственно). Снижение интенсивности фотосинтеза проявлялось в подавлении F_v/F_m и Y(II) и увеличении NPQ с наиболее ранними изменениями параметров Y(II) и NPQ у Фокс 1 и Ратник (на 4-й и 5-й день соответственно) по сравнению с Леон (на 7-й день). В полевых условиях оценивалась урожайность сортов и ее зависимость от количества осадков. Выявлена положительная корреляция между разностью урожайности двух контрастных по ответу на засуху сортов Леон и Ратник и количеством осадков в период активной вегетации в 2014–2017 и 2022 гг. (R^2 -Пирсона = $0,77$, $p < 0,05$). Наиболее чувствительными параметрами фотосинтеза, по которым можно прогнозировать устойчивость к недостатку влаги, представляются Y(II) и NPQ.

Ключевые слова: фенотипирование, фотосинтез, урожайность, засуха, *Hordeum vulgare*, перспективные линии ячменя.

Для цитирования: Немцова Ю. А., Кузнецова Д. В., Гринберг М. А., Воденев В. А., Донцова А. А., Донцов Д. П., Бондаренко В. С., Волкова П. Ю., Бондаренко Е. В. Y(II) и NPQ – перспективные показатели фотосинтеза для прогнозирования засухоустойчивости ячменя // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 43–51. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-43-51.



PROMISING PHOTOSYNTHETIC PARAMETERS Y(II) AND NPQ FOR PREDICTING BARLEY DROUGHT TOLERANCE

Yu. A. Nemtsova¹, laboratory assistant of the department of biophysics, julnemtsova@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0003-4654-2999;

D. V. Kuznetsova¹, junior researcher of the department of biophysics, kuznetsova.dar0@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9854-3457;

M. A. Grinberg¹, junior researcher of the laboratory for radiobiology, mag1355@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6069-0400;

V. A. Vodeneev¹, Doctor of Biological Sciences, docent, head of the department of biophysics, v.vodeneev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3726-5577;

A. A. Dontsova², Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

D. P. Dontsov², Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

V. S. Bondarenko³, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the department of radiation and genetic technologies in crop production, bvs79@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6413-9699;

P. Yu. Volkova⁴, Doctor of Biological Sciences, volkova.obninsk@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-2824-6232;

E. V. Bondarenko³, Candidate of Biological Sciences, leading researcher of the department of radiation and genetic technologies in crop production, bev_1408@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7937-3824

¹FSAEI HE "National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky", 603022, Nizhny Novgorod region, Nizhny Novgorod, Gagarin Ave., 23;

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

³FSBI "Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre "Kurchatov Institute", 249035, Kaluga region, Obninsk, Kyiv highway, 1, bldg. 1;

⁴Independent researcher, Belgium, 2440, province of Antwerp, Gel, Burgstraat St., 46-3

The purpose of the current work was to identify photosynthetic parameters that are predictors of barley drought tolerance, determined at early stages of development, and to verify the results obtained in field conditions. The study was carried out with the barley varieties 'Leon', 'Ratnik' and 'Foks 1', used in mutation breeding to develop drought-resistant genotypes. Drought was modeled by stopping irrigation. Plant resistance was estimated by changes in chlorophyll fluorescence (F_v/F_m , Y(II), NPQ) and morphometric parameters (leaf length, wet and dry weight) compared to the control group with normal water supply. Under stress-free conditions, the variety 'Leon' demonstrated a statistically significantly lower efficiency of photosynthesis in terms of Y(II) and F_v/F_m (0.535 ± 0.005 and 0.776 ± 0.004 , respectively) in comparison with other varieties (0.577 ± 0.005 and 0.788 ± 0.001 for the variety 'Foks 1'; 0.574 ± 0.004 and 0.787 ± 0.001 for the variety 'Ratnik'). When modeling drought, there has been established a decrease in all morphometric indicators for all varieties relative to the control, with the highest degree of inhibition for the variety 'Ratnik' (70.16 ± 3.88 %; 8.09 ± 0.73 %; 68.50 ± 4.42 % for leaf length, wet and dry weight, respectively) and with the lowest degree for the variety 'Leon' (88.06 ± 7.83 %; 26.51 ± 7.11 %; 79.32 ± 11.17 %, respectively). A decrease in the photosynthesis intensity was manifested in the suppression of F_v/F_m and Y(II) and an increase in NPQ, with the earliest changes in the parameters Y(II) and NPQ in the varieties 'Foks 1' and 'Ratnik' (on the 4th and 5th day, respectively), compared to the variety 'Leon' (on the 7th day). In the field conditions, there has been estimated productivity of the varieties and its dependence on precipitation. A positive correlation between the difference in yield of two varieties 'Leon' and 'Ratnik', contrasting in their response to drought, and the amount of precipitation during the active vegetation period in 2014–2017 and 2022 (Pearson's $R^2 = 0.77$, $p < 0.05$) has been identified. The most sensitive parameters of photosynthesis, which can be used to predict resistance to moisture deficiency, were Y(II) and NPQ.

Keywords: phenotyping, photosynthesis, productivity, drought, *Hordeum vulgare*, promising barley lines.

Введение. Сельскохозяйственные растения растут в постоянно изменяющихся условиях окружающей среды (Choudhury et al., 2017), подвергаясь действию множества биотических и абиотических факторов. Одним из основных абиотических стрессоров растений, лимитирующих их рост и продуктивность, является засуха. В условиях водного дефицита потери урожая большинства основных сельскохозяйственных культур могут достигать 50 % и более (Fahad et al., 2017). В связи с этим селекция новых сортов сельскохозяйственных культур, полученных в том числе с применением подходов генной инженерии, сосредоточена не только на увеличении потенциальной продуктивности, но и на повышении устойчивости растений к действию стрессоров (Nowicka et al., 2018).

При выведении улучшенных сортов сельскохозяйственных растений, вне зависимости от способа получения генотипов (гибридизация, геномное редактирование), одной из важных задач является разработка методов быстрого и надежного определения качества полученных линий. То есть требуются системы высокопроизводительного фенотипирования, способные по каким-либо параметрам проростков дать информацию о потенциальной продуктивности и стрессоустойчивости растений (Sun et al., 2021). Наиболее показательным параметром представляется активность фотосинтеза в связи с высокой степенью сопряжения между состоянием фотосинтетического аппарата и растения в целом (Nowicka et al., 2018). Поскольку фотосинтез чутко реагирует

на внешние факторы, фотосинтетические показатели потенциально могут быть использованы в качестве предикторов устойчивости к стрессорам. При этом к разным неблагоприятным факторам ряд фотосинтетических параметров может проявлять разную степень чувствительности, то есть при воздействии разных стрессоров какие-либо параметры будут в лучшей мере отражать степень повреждений в растении.

Нужно учитывать, что результаты фенотипирования, полученные в контролируемых лабораторных условиях, не всегда можно экстраполировать на полевые, что подчеркивает важность верификации в условиях агроэкосистемы. На настоящий момент в литературе присутствует ограниченное количество работ, в которых приводится сопоставление результатов лабораторного фенотипирования с данными полевых условий. Цель настоящей работы – поиск фотосинтетических показателей-предикторов устойчивости к засухе у растений ячменя, определяемых на ранних стадиях развития, и верификация полученных результатов в полевых условиях.

Материалы и методы исследований.

Объекты исследования и условия выращивания. Тестирование параметров фотосинтеза и засухоустойчивости в контролируемых лабораторных условиях проводилось в 2022 г. на растениях ячменя (*Hordeum vulgare* L.) яровых сортов Леон и Ратник, а также озимом сорте Фокс 1 в трех биологических повторностях каждого экспериментального условия (контроль/засуха) по 18 растений в каждой повторности. Семена замачивали в дистиллированной воде и проращивали на фильтровальной бумаге на протяжении 3-х дней, после чего переносили в горшки 7×7×7 см с использованием грунта черного Peter Peat (азот – 100 мг/л, фосфор – 80 мг/л, калий мг/л – 130 мг/л). Масса грунта в каждом горшке составляла 120 г. Полив осуществлялся два раза в неделю водопроводной водой. Объем жидкости, используемый на горшок при каждом поливе, – 20 мл. Растения выращивали в условиях 16-часового светового периода при освещении люминесцентными лампами и среднесуточной температуре 24 °С в течение 25 дней.

Полевые испытания проводили на полях научного севооборота отдела селекции и семеноводства ячменя ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской» в 2013–2022 годах. Учетная площадь 10 м², повторность шестикратная. Норма высева – 450 всхожих зерен на 1 м², стандарт расположен через 10 номеров. Сроки посева – при наступлении физической спелости почвы, уборка – при наступлении полной спелости зерна.

Наблюдения и оценку урожайности сортов проводили по Методике государственного сортоиспытания РФ (2019).

Анализ количества осадков в период полевых испытаний был выполнен с использованием архива данных метеостанций г. Зерноград

и г. Ростов-на-Дону (метеостанции №№ 34735 и 34730) (URL: <https://rp5.ru>). Суммарные количества осадков в 2014–2017 и 2022 гг. за период активной вегетации составили 179 мм, 287 мм, 304 мм, 218 мм, 147 мм соответственно и были использованы в корреляционном анализе.

Методы исследования в лабораторных условиях. Определение морфометрических параметров. Морфометрические показатели оценивались по длине листьев, сухой и сырой массе по достижении проростками возраста 25 дней. Для измерения сухой массы растения высушивали в сушильном шкафу ШС-80-02 (Смоленское СКТБ СПУ, Смоленск) в ходе двух циклов нагрева длительностью 3 ч при температуре 100 °С.

Регистрация параметров фотосинтеза. Для регистрации уровня ассимиляции использовали инфракрасный газоанализатор GFS-3000 с измерительной головкой Dual-PAM gas-exchange Cuvette 3010-Dual (Heinz Walz GmbH, Германия). Для поддержания фотосинтеза использовали актиничный свет с длиной волны 460 нм, плотность фотонного потока составляла 239 мкмоль×м⁻²×с⁻¹. Для насыщающих вспышек использовали освещение на длине волны 635 нм с плотностью фотонного потока 9000 мкмоль×м⁻²×с⁻¹. Концентрацию CO₂ в измерительной кювете поддерживали на уровне 360 мкмоль×моль⁻¹, температуру – 24 °С, относительную влажность – 60 %. Параметры ассимиляции регистрировались на 2-м листе на расстоянии 7 см от кончика. Измерениям предшествовала темновая и световая адаптация длительностью по 30 мин.

Параметры световой стадии фотосинтеза регистрировали при помощи PAM-флуориметра PlantExplorerPro⁺ (PhenoVation, Нидерланды). Расчет фотосинтетических параметров (максимального квантового выхода фотосистемы II (F_v/F_m), эффективного квантового выхода фотохимических реакций фотосистемы II (Y(II)) и нефотохимического тушения флуоресценции (NPQ)) производили встроенным программным обеспечением прибора (Maxwell and Johnson, 2000):

F_m – максимальный выход флуоресценции после адаптации к темноте,

$F_v = F_m - F_0$, где F_0 – уровень флуоресценции без света и после темновой адаптации.

$Y(II) = (F_m' - F_t)/F_m'$, F_m' – максимальный выход флуоресценции на свету, F_t – стационарное значение флуоресценции непосредственно перед вспышкой;

$NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$.

Для поддержания фотосинтеза использовали белый актиничный свет с плотностью фотонного потока 191,39 мкмоль×м⁻²×с⁻¹. Для насыщающих вспышек использовали освещение на длине волны 660 нм с плотностью фотонного потока 2881 мкмоль×м⁻²×с⁻¹. Значения фотосинтетических показателей регистрировались на уровне целого растения. Измерениям предшествовала темновая и световая адаптация длительностью по 15 мин.

Тестирование устойчивости к засухе.

Засуху задавали прекращением полива растений по достижении проростками возраста 14 дней (рис. 1). Устойчивость к засухе оценивали по величине остаточного уровня фотосинтеза и времени наступления вызванных засухой изменений фотосинтетической актив-

ности, а также морфометрических показателей (длина листьев, сырая и сухая масса) по сравнению с контрольной группой с нормальным водообеспечением. С 12-го по 20-й день выращивания растений регистрацию параметров фотосинтеза осуществляли через день, с 20-го по 24-й день – ежедневно.

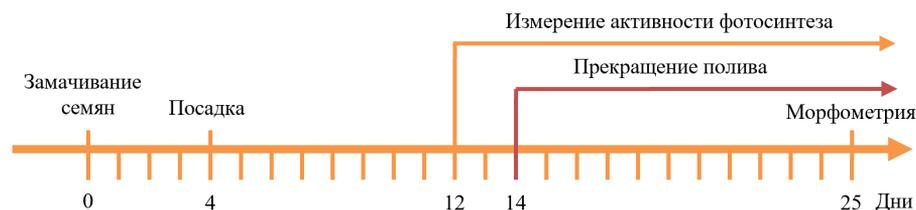


Рис. 1. Схема-график изучения влияния засухи на состояние растений ячменя
Fig. 1. Diagram of the study of the drought effect on the state of barley plants

Статистическая обработка данных.

Для каждой совокупности вычислялись среднее значение и ошибка среднего. Достоверность различий оценивали по t-критерию Стьюдента. Математическую обработку данных полевых испытаний производили по методике Б.А. Доспехова (2014) с помощью программы Statistica 13. Корреляционный анализ выполнен с применением коэффициента корреляции Пирсона.

Результаты и их обсуждение.

Данные лабораторных исследований. Для поиска фотосинтетических параметров-предикторов устойчивости к засухе проводили сопоставление морфометрических

показателей и фотосинтетической активности у растений ячменя в контрольных условиях (с нормальным водообеспечением) и в условиях водного дефицита.

Сопоставление морфометрических показателей и фотосинтетической активности у растений ячменя в контрольных условиях. Значительную роль в устойчивости растений играет их состояние до возникновения стрессовых условий, поэтому на первом этапе была проведена оценка показателей растений в покое. Было выполнено сопоставление морфометрических показателей сортов ячменя Леон, Ратник, Фокс 1 (рис. 2).

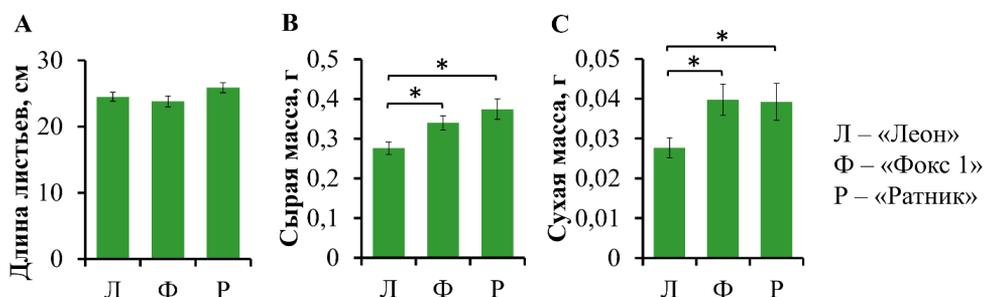


Рис. 2. Морфометрические показатели (А – длина листьев, см; В – сырая масса, г; С – сухая масса, г) контрольных растений ячменя сортов Леон (Л), Фокс 1 (Ф) и Ратник (Р).

* – статистически значимые различия, $p < 0,05$

Fig. 2. Morphometric parameters (A – leaf length, cm; B – wet weight, g; C – dry weight, g) of the control barley plants of the varieties 'Leon' (Л), 'Foks 1' (Ф) and 'Ratnik' (Р);

* – statistically significant differences, $p < 0,05$

Наибольшая длина листьев наблюдалась у сорта Ратник, наименьшая – у сорта Фокс 1, однако статистически значимых отличий по этому параметру выявлено не было. Было установлено, что сырая и сухая масса листьев растений сортов Ратник и Фокс 1 статистически значимо выше аналогичных показателей растений сорта Леон. Так, наибольшее значение сырой массы показано для сорта Ратник ($0,37 \pm 0,03$ г), наименьшее – для сорта Леон ($0,28 \pm 0,02$ г).

Сырая масса растений сорта Фокс 1 составляла $0,34 \pm 0,02$ г. По сухой массе наибольшие значения ($0,040 \pm 0,004$ г) наблюдались у сорта Фокс 1, наименьшие ($0,028 \pm 0,003$ г) – у сорта Леон. Для сорта Ратник значения сухой массы составили $0,039 \pm 0,005$ г.

Далее был исследован процесс, определяющий продуктивность и набор биомассы – активность фотосинтеза в бесстрессовых условиях (Nowicka et al., 2018) (рис. 3).

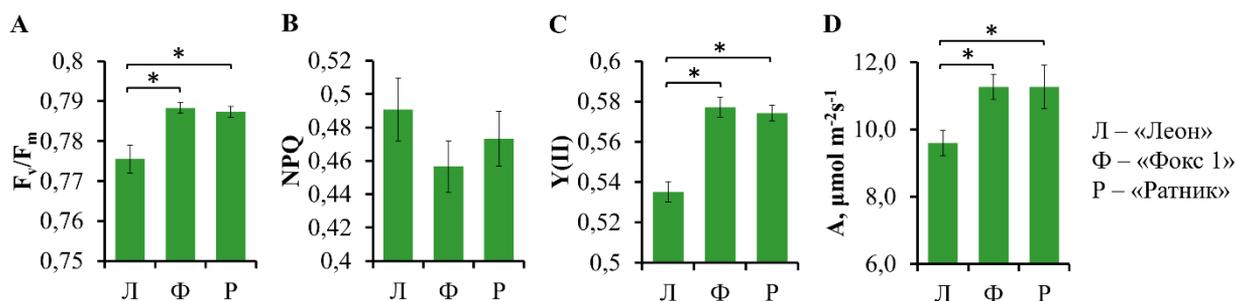


Рис. 3. Фотосинтетические показатели контрольных растений ячменя сортов Леон (Л), Фокс 1 (Ф) и Ратник (Р):

А – максимальный квантовый выход фотосистемы II, F_v/F_m , ед.;

В – нефотохимическое тушение флуоресценции, NPQ, ед.;

С – эффективный квантовый выход фотохимических реакций фотосистемы II, Y(II), ед.;

Д – ассимиляция CO_2 , $\mu\text{моль}\times\text{м}^{-2}\times\text{с}^{-1}$; * – статистически значимые различия, $p < 0,05$

Fig. 3. Photosynthetic parameters of the control barley plants of the varieties 'Leon' (Л), 'Foks 1' (Ф) and 'Ratnik' (Р):

A – maximum quantum yield of photosystem II, F_v/F_m , units;

B – non-photochemical fluorescence quenching, NPQ, units;

C – effective quantum yield of photochemical reactions of photosystem II, Y(II), units;

D – CO_2 assimilation, $\mu\text{mol}\times\text{m}^{-2}\times\text{s}^{-1}$; * – statistically significant differences, $p < 0.05$

Работа фотосинтетического аппарата наиболее полно характеризуется значениями параметров световой стадии фотосинтеза при включении света после темновой адаптации. Наибольшее значение имеют максимальный квантовый выход ФС II (F_v/F_m), отражающий структурную целостность фотосистемы II, эффективный квантовый выход фотохимических реакций фотосистемы II (Y(II)) и нефотохимическое тушение флуоресценции (NPQ). Эти показатели отражают эффективность работы фотосистемы II в адаптированном к свету и темноте состоянии, а также количество рассеиваемой в виде тепла энергии.

У растений сорта Леон обнаружен пониженный в сравнении с другими сортами уровень фотосинтеза: показана статистически значимая разница для Y(II) и F_v/F_m как с сортом Фокс 1, так и с сортом Ратник. Для показателя F_v/F_m были зарегистрированы следующие значения: $0,776\pm 0,004$ – для сорта Леон; $0,788\pm 0,001$ – для сорта Фокс 1; $0,787\pm 0,001$ – для сорта Ратник. Значения Y(II) для растений

ячменя составили: $0,535\pm 0,005$ – для сорта Леон; $0,577\pm 0,005$ – для сорта Фокс 1; $0,574\pm 0,004$ – для сорта Ратник. По сравнению с другими сортами уровень NPQ был повышен у растений сорта Леон, однако статистически значимых отличий не наблюдалось. Исследование интегрального показателя фотосинтеза – ассимиляции CO_2 показало статистически значимо большие значения у ячменя сортов Ратник и Фокс 1 по сравнению с сортом Леон, которые составили $11,3\pm 0,65$ $\mu\text{моль}\times\text{м}^{-2}\times\text{с}^{-1}$, $11,3\pm 0,37$ $\mu\text{моль}\times\text{м}^{-2}\times\text{с}^{-1}$ и $9,6\pm 0,38$ $\mu\text{моль}\times\text{м}^{-2}\times\text{с}^{-1}$ соответственно.

Влияние засухи на морфометрические показатели и фотосинтетическую активность растений ячменя. Был проведен анализ морфометрических параметров растений, подвергавшихся засухе, и для каждого параметра (длина листьев, сырая и сухая масса) рассчитано относительное значение к контролю, принятому за 100 %. Засуха вызывает снижение всех исследованных морфометрических показателей для всех сортов ячменя (рис. 4).

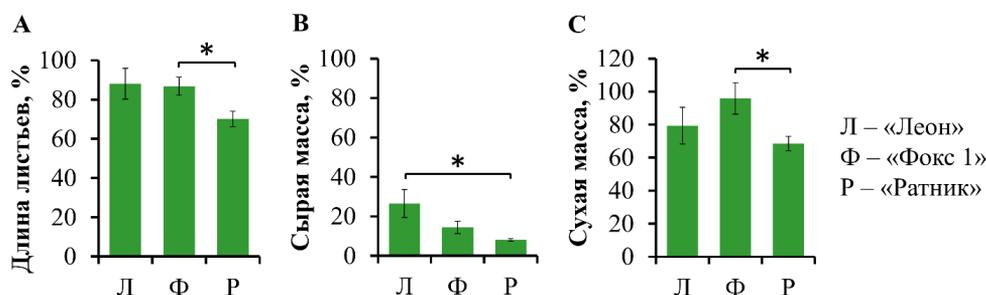


Рис. 4. Влияние засухи на морфометрические показатели ячменя

(А – длина листьев, %; В – сырая масса, %; С – сухая масса, %) сортов Леон (Л), Фокс 1(Ф) и Ратник (Р).

За 100 % приняты показатели растений с нормальным водообеспечением;

* – статистически значимые различия, $p < 0,05$

Fig. 4. The effect of drought on the morphometric parameters of barley

(A – leaf length, %; B – wet weight, %; C – dry weight, %) of the varieties 'Leon' (Л), 'Foks 1' (Ф) and 'Ratnik' (Р).

The indicators of plants with normal water supply are taken as 100 %;

* – statistically significant differences, $p < 0.05$

Для сорта Ратник была установлена наибольшая степень угнетения всех морфометрических параметров, остаточный уровень которых составил $70,16 \pm 3,88$; $8,09 \pm 0,73$; $68,50 \pm 4,42$ для длины листьев, сырой и сухой массы соответственно. Для сорта Фокс 1 показана большая степень угнетения по сравнению с сортом Леон по остаточной сырой массе. Длина, сырая и сухая масса для сор-

та Фокс 1 составили $86,78 \pm 4,59$; $14,41 \pm 3,20$; $95,83 \pm 9,56$ соответственно, для сорта Леон – $88,06 \pm 7,83$; $26,51 \pm 7,11$; $79,32 \pm 11,17$ соответственно.

Типичные изменения, вызываемые засухой, проявляются в снижении интенсивности фотосинтеза: подавлении F_v/F_m и $Y(II)$ и увеличении NPQ (рис. 5) (Dalal, 2021).

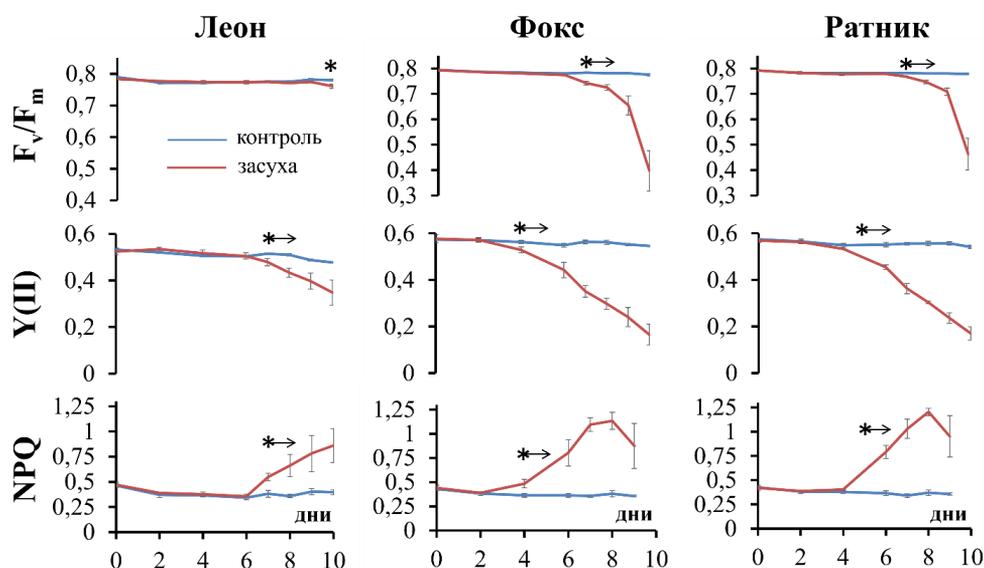


Рис. 5. Влияние засухи на динамику параметров фотосинтеза растений ячменя сортов Леон, Фокс 1 и Ратник; * – статистически значимые различия, $p < 0,05$.

Стрелкой обозначено наличие значимых различий для всех последующих дней после отмеченного

Fig. 5. The effect of drought on the dynamics of photosynthesis parameters of barley plants of the varieties 'Leon', 'Foks 1' and 'Ratnik'.

* – statistically significant differences, $p < 0.05$.

The arrow indicates the presence of significant differences for all subsequent days after the marked one

Обнаружено, что наиболее чувствительными к засухе параметрами фотосинтеза являются $Y(II)$ и NPQ, о чем свидетельствует более быстрые изменения этих параметров по сравнению с F_v/F_m . Наиболее ранние изменения величин $Y(II)$ и NPQ наблюдались у сортов Фокс 1 и Ратник – они начинались на 4-й и 5-й день соответственно после прекращения полива. У сорта Леон аналогичные изменения наступали на 7-й день.

Сопоставление лабораторных данных с результатами полевых испытаний. Сопоставление результатов засухоустойчивости, полученных в лабораторных условиях, с результатами полевых испытаний было про-

ведено с использованием двух сортов ярового ячменя – Леон и Ратник. В лабораторных условиях для этих сортов продемонстрированы контрастные результаты по остаточным значениям и времени наступления вызванных засухой изменений морфометрии и фотосинтеза: для Леона показана высокая устойчивость к недостатку влаги, для Ратника, напротив, показана пониженная засухоустойчивость. В качестве параметра, отражающего интегральную продуктивность растений ячменя в полевых условиях, была выбрана урожайность. Проанализированы значения урожайности выбранных сортов ячменя за последние 10 лет (табл.).

Данные урожайности ячменя сортов Леон и Ратникв период с 2013 по 2022 г. (т/га)
Productivity data for the barley varieties 'Leon' and 'Ratnik' in the period from 2013 to 2022 (t/ha)

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ратник	4,1	4,6	5,6	6,4	6,4	4,2	4,5	4,7	3,7	6,1
Леон	4,2	5,4	5,3	6,2	6,9	4,4	4,7	4,7	4	6,5
НСР ₀₅	0,2	0,5	0,2	0,6	0,4	0,1	0,2	0,7	0,2	0,3
Разность (Ратник–Леон)	-0,1	-0,8	0,3	0,2	-0,5	-0,2	-0,2	0	-0,3	-0,4

Примечание. Жирным шрифтом выделены годы, используемые для корреляционного анализа.

Обнаружено, что в разные годы урожайность исследуемых сортов была разнонаправлена. Урожайность сорта Ратник была выше в 2015 и 2016 гг., одинаковые значения для обоих сортов наблюдались в 2020 г., а в 2013, 2014, 2017, 2018, 2019 и 2021 гг. большая урожайность была показана для сорта Леон.

Для проверки гипотезы о связи высокой урожайности того либо иного сорта с количеством осадков был выполнен корреляционный анализ. Для анализа были выбраны годы, во время которых: а) имела место высокая урожайность обоих сортов ячменя (чтобы избежать влияния дополнительных неучтенных неблагоприятных факторов); б) регистрирова-

лись значительные различия в урожайности исследуемых сортов. Обозначенным критериям соответствовали 2014–2017 и 2022 годы. В ходе анализа сопоставлялась урожайность, выраженная как разность урожайности между сортами Ратник и Леон (табл.), с суммарным количеством осадков за период активной вегетации (апрель – июль) растений ячменя. Для выбранных годов (2014–2017 и 2022 гг.) сумма осадков составила 179, 287, 304, 218 и 147 мм соответственно. Корреляционный анализ показал хорошее соответствие между разностью урожайности исследуемых сортов и суммарным количеством осадков, коэффициент корреляции Пирсона составил 0,77 ($p < 0,05$) (рис. 6).

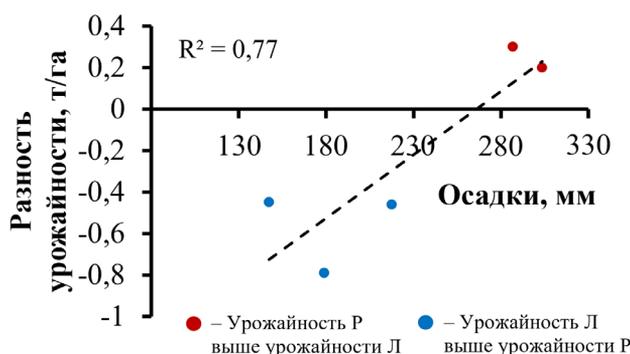


Рис. 6. Корреляция между суммарными осадками за период активной вегетации (апрель – июль) и урожайностью ячменя. Р – ячмень сорта Ратник; Л – ячмень сорта Леон

Fig. 6. Correlation between total precipitation during the active vegetation period (April-July) and barley productivity. Red dots – the productivity of the barley variety 'Ratnik' is higher than productivity of 'Leon'; Blue dots – the productivity of the barley variety 'Leon' is higher than that of 'Ratnik'

Наиболее чувствительные к засухе показатели. Результаты, полученные в контролируемых бесстрессовых лабораторных условиях, демонстрируют, что по морфометрическим показателям сорта Фокс 1 и Ратник превосходят сорт Леон (рис. 2). Морфометрические показатели определяются главным образом активностью фотосинтеза, о которой судят по ассимиляции CO_2 и параметрам световой стадии. В эксперименте для исследованных сортов ячменя показано хорошее соответствие между результатами измерений морфометрии и фотосинтеза: большая интенсивность фотосинтетических процессов была также характерна для сортов Фокс 1 и Ратник по сравнению с сортом Леон, что выражалось в повышенных значениях параметров ассимиляции CO_2 , F_v/F_m и $Y(II)$ (рис. 3).

Традиционно эффект засухи оценивают по потере урожайности и морфометрическим показателям подвергнутых стрессу растений. В лабораторных условиях по показателям морфометрии исследуемые сорта показали разную засухоустойчивость. Ячмень сорта Ратник демонстрировал пониженные значения по длине и массе по сравнению с сортами Фокс 1 и Леон (рис. 4). Наиболее ранние изменения в фотосинтетических показателях F_v/F_m , $Y(II)$ и NPQ показаны для сортов Фокс 1 и Ратник, самые поздние – для сорта Леон (рис. 5). Анализ в ла-

бораторных условиях позволил выявить наиболее чувствительные к засухе параметры фотосинтеза – $Y(II)$ и NPQ, для которых наблюдались более ранние изменения по сравнению с F_v/F_m . В работе по изучению влияния засухи на показатели флуоресценции хлорофилла проростков сои были отмечены несколько параметров, значительно снижавшиеся на фоне стресса, из которых выделены чистая скорость фотосинтеза (P_n) и квантовый выход $Y(II)$ как наиболее информативные (Wang et al., 2018). Задавшись вопросом, является ли фотозащита фотосистемы II одним из ключевых механизмов засухоустойчивости кукурузы, Bashir и соавторы сделали вывод, что изменение активности ФС II и ФС I и развитие NPQ через циклический поток электронов являются физиологическими механизмами защиты фотосинтетического аппарата, однако для сохранения на фоне стресса продуктивности растений необходим соответствующий баланс между этими процессами (Bashir et al., 2021).

Для верификации данных, полученных в лабораторных условиях, и дальнейшего анализа были выбраны сорта ярового ячменя Леон и Ратник и проведено сопоставление с результатами полевых исследований. Сорт Ратник, показавший в лаборатории высокую продуктивность в отсутствие стрессоров, в полевых условиях в годы с оптимальным количеством

осадков превосходил по урожайности сорт Леон. В более засушливые годы наблюдалась большая урожайность для сорта Леон и меньшая для сорта Ратник, что подтверждает показанную в лабораторных условиях высокую засухоустойчивость сорта Леон по сравнению с сортом Ратник. Ранее было показано, что абиотический стресс (а именно, низкодозовое гамма-облучение) семян сорта Леон значительно ингибирует рост растений и приводит к накоплению бета-аланина (Pishenin et al., 2021), который в свою очередь играет роль в засухоустойчивости и является предшественником осмопротектора бета-аланин бетаина (Parthasarathy et al., 2019). Возможно, именно накопление при стрессе предшественников осмопротекторов дает сорту Леон преимущество в засушливых условиях.

Выводы. Тестирование параметров фотосинтеза трех сортов ячменя в контролируемых условиях выявило статистически значимо пониженный уровень фотосинтеза у растений сорта Леон ($F_v/F_m = 0,776 \pm 0,004$; $Y(II) = 0,535 \pm 0,005$ и ассимиляции $CO_2 = 9,6 \pm 0,38$ мкмоль \times м $^{-2}$ \times с $^{-1}$) по сравнению как с сортом Фокс 1 ($F_v/F_m = 0,788 \pm 0,001$; $Y(II) = 0,577 \pm 0,005$; ассимиляция $CO_2 = 11,3 \pm 0,37$ мкмоль \times м $^{-2}$ \times с $^{-1}$), так и с сортом Ратник ($F_v/F_m = 0,787 \pm 0,001$; $Y(II) = 0,574 \pm 0,004$; ассимиляция $CO_2 = 11,3 \pm 0,65$ мкмоль \times м $^{-2}$ \times с $^{-1}$). При моделировании засухи путем прекращения полива отмечено снижение всех исследованных морфометрических показателей (длина

листьев, сырая и сухая масса) относительно растений с нормальным водообеспечением для всех сортов ячменя с наибольшей степенью угнетения для сорта Ратник ($70,16 \pm 3,88$ %; $8,09 \pm 0,73$ %; $68,50 \pm 4,42$ % для длины листьев, сырой и сухой массы соответственно) и наименьшей – для сорта Леон ($88,06 \pm 7,83$ %; $26,51 \pm 7,11$ %; $79,32 \pm 11,17$ % соответственно). На фоне засухи отмечено снижение интенсивности фотосинтеза, что проявлялось в подавлении F_v/F_m и $Y(II)$ и увеличении NPQ с наиболее ранними изменениями параметров $Y(II)$ и NPQ у сортов Фокс 1 и Ратник (на 4-й и 5-й день соответственно) по сравнению с сортом Леон (аналогичные изменения наступали на 7-й день). Выявлена сильная положительная корреляция между разностью урожайности двух контрастных по ответу на моделирование засухи сортов Леон и Ратник и суммарным количеством осадков в период активной вегетации в 2014–2017 и 2022 гг. (R^2 -Пирсона = 0,77, $p < 0,05$).

Таким образом, наиболее чувствительными показателями фотосинтеза, по которым можно прогнозировать засухоустойчивость, представляются уровень $Y(II)$ и NPQ, отражающие активность работы фотосистемы II и количество рассеиваемой в виде тепла энергии.

Финансирование. Результаты получены при финансовой поддержке Российской Федерации в лице Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение № 075-15-2021-1068 от 28.09.2021).

Библиографические ссылки

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
2. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: ООО Группа компаний «Море», 2019. 384 с.
3. Расписание погоды [Электронный ресурс]. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Зернограде (дата обращения 20.07.2023).
4. Bashir N., Athar H.-u.-R., Kalaji H.M., Wróbel J., Mahmood S., Zafar Z.U., Ashraf M. Is Photoprotection of PSII One of the Key Mechanisms for Drought Tolerance in Maize? // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22, Article number: 13490. DOI: 10.3390/ijms222413490
5. Choudhury F.K., Rivero R.M., Blumwald E., Mittler R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination // The Plant Journal. 2017. Vol. 90, № 5. P. 856–867. DOI: 10.1111/tjp.13299
6. Dalal V.K. Modulation of photosynthesis and other proteins during water-stress // Molecular Biology Reports. 2021. Vol. 48, № 4. P. 3681–3693. DOI: 10.1007/s11033-021-06329-6
7. Fahad S., Bajwa A.A., Nazir U., Anjum S.A., Farooq A., Zohaib A., Sadia S., Nasim W., Adkins S., Saud S., Ihsan M.Z., Alharby H., Wu C., Wang D., Huang J. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8, Article number: 1147. DOI: 10.3389/fpls.2017.01147
8. Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide // Journal of Experimental Botany. 2000. Vol. 51. P. 659–668. DOI: 10.1093/jexbot/51.345.659
9. Nowicka B., Ciura J., Szymańska R., Kruk J. Improving photosynthesis, plant productivity and abiotic stress tolerance – current trends and future perspectives // Journal of Plant Physiology. 2018. Vol. 231, P. 415–433. DOI: 10.1016/j.jplph.2018.10.022
10. Parthasarathy A., Savka M.A., Hudson A.O. The Synthesis and Role of β -Alanine in Plants // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10, Article number: 921. DOI: 10.3389/fpls.2019.00921
11. Pishenin I., Gorbatoва I., Kazakova E., Podobed M., Mitsenyk A., Shesterikova E., Dontsova A., Dontsov D., Volkova P. Free Amino Acids and Methylglyoxal as Players in the Radiation Hormesis Effect after Low-Dose γ -Irradiation of Barley Seeds // Agriculture. 2021. Vol. 11, Article number: 918. DOI: 10.3390/agriculture11100918
12. Sun D., Robbins K., Morales N., Shu Q., Cen H. Advances in optical phenotyping of cereal crops // Trends in Plant Science. 2021. Vol. 27. P. 191–208. DOI: 10.1016/j.tplants.2021.07.015
13. Wang W.S., Wang C., Pan D.Y., Zhang Y.K., Luo B., Ji J.W. Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence images of soybean (*Glycine max*) seedlings // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018. Vol. 11, № 2. P. 196–201. DOI: 10.25165/ij.ijabe.20181102.3390

References

1. 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.
2. Metodika Gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Moskva: OOO Gruppa kompanii «More», 2019. 384 s.
3. Raspisanie pogody [Weather schedule] [Elektronnyi resurs]. URL: https://rp5.ru/Arkhiv_pogody_v_Zernograde (data obrashcheniya: 20.07.2023).
4. Bashir N., Athar H.-u.-R., Kalaji H.M., Wróbel, J., Mahmood S., Zafar Z.U., Ashraf M. Is Photoprotection of PSII One of the Key Mechanisms for Drought Tolerance in Maize? // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22, Article number: 13490. DOI: 10.3390/ijms222413490
5. Choudhury F.K., Rivero R.M., Blumwald E., Mittler R. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination // The Plant Journal. 2017. Vol. 90, № 5. P. 856–867. DOI: 10.1111/tpj.13299
6. Dalal V.K. Modulation of photosynthesis and other proteins during water-stress // Molecular Biology Reports. 2021. Vol. 48, № 4. P. 3681–3693. DOI: 10.1007/s11033-021-06329-6
7. Fahad S., Bajwa A.A., Nazir U., Anjum S.A., Farooq A., Zohaib A., Sadia S., Nasim W., Adkins S., Saud S., Ihsan M.Z., Alharby H., Wu C., Wang D., Huang J. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8, Article number: 1147. DOI: 10.3389/fpls.2017.01147
8. Maxwell K., Johnson G.N. Chlorophyll fluorescence—a practical guide // Journal of Experimental Botany. 2000. Vol. 51. P. 659–668. DOI: 10.1093/jexbot/51.345.659
9. Nowicka B., Ciura J., Szymańska R., Kruk J. Improving photosynthesis, plant productivity and abiotic stress tolerance – current trends and future perspectives // Journal of Plant Physiology. 2018. Vol. 231. P. 415–433. DOI: 10.1016/j.jplph.2018.10.022
10. Parthasarathy A., Savka M.A., Hudson A.O. The Synthesis and Role of β -Alanine in Plants // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10, Article number: 921. DOI: 10.3389/fpls.2019.00921
11. Pishenin I., Gorbatova I., Kazakova E., Podobed M., Mitsenyk A., Shesterikova E., Dontsova A., Dontsov D., Volkova P. Free Amino Acids and Methylglyoxal as Players in the Radiation Hormesis Effect after Low-Dose γ -Irradiation of Barley Seeds // Agriculture. 2021. Vol. 11, Article number: 918. DOI: 10.3390/agriculture11100918
12. Sun D., Robbins K., Morales N., Shu Q., Cen H. Advances in optical phenotyping of cereal crops // Trends in Plant Science. 2021. Vol. 27. P. 191–208. DOI: 10.1016/j.tplants.2021.07.015
13. Wang W.S., Wang C., Pan D.Y., Zhang Y.K., Luo B., Ji J.W. Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence images of soybean (*Glycine max*) seedlings // International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018. Vol. 11, № 2. P. 196–201. DOI: 10.25165/ijabe.20181102.3390

Поступила: 06.09.23; доработана после рецензирования: 17.11.23; принята к публикации: 20.11.23.

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. Бондаренко Е. В., Воденеев В. А., Волкова П. Ю. – концептуализация и ресурсное обеспечение исследования; Немцова Ю. А., Кузнецова Д. В., Гринберг М. А., Донцова А. А., Донцов Д. П. – подготовка и выполнение экспериментальных лабораторных и полевых работ и сбор данных; Немцова Ю. А., Гринберг М. А., Донцова А. А., Бондаренко В. С., Бондаренко Е. В., Воденеев В. А., Волкова П. Ю., Донцов Д. П. – визуализация, обработка и анализ данных и их интерпретация; Немцова Ю. А., Гринберг М. А. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПОЛУЧЕНИЕ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ МЕЖВИДОВЫХ ГИБРИДОВ ПШЕНИЦЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЗРЕЛЫХ ЗАРОДЫШЕЙ В КАЧЕСТВЕ ЭКСПЛАНТОВ

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, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

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

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

Особое внимание в селекции озимой пшеницы в настоящее время уделяется внедрению биотехнологических методов. Культура незрелых зародышей *in vitro* – альтернативный способ получения гибридов, которые часто не развиваются полностью *in vivo*. Цель исследований – оценка способности незрелых зародышей межвидовых гибридов озимой пшеницы к индукции каллуса, морфогенезу и регенерации растений на искусственных питательных средах, а также подбор оптимальных условий для получения полноценных растений со всеми ботаническими признаками вида. Материал исследований – 5 гибридных комбинаций межвидовых скрещиваний между твердой (*Triticum durum* DESF.) и мягкой (*Triticum aestivum* L.) озимой пшеницей. Отбор материала проводили в течение одного полевого сезона (2022 г.). В качестве эксплантов использовали незрелые зародыши. Культуральные среды – по прописи Мурасиге-Скуга (MS). Различались они по содержанию гормонов и органических веществ. Установлено, что гибридные комбинации характеризовались разнообразием морфогенного ответа. Проявление каллусогенеза было недостаточно высоким и составляло в среднем 22–32 % в зависимости от питательной среды. Ризогенез составлял в среднем от 1–6,7 % и заканчивался образованием корней. Процесс образования эмбриоидо- и гемморизогенеза лучше всего проявился у гибридной комбинации № 1, причем на двух средах. Все процессы морфогенеза, кроме «ризогенеза», сильно варьировали по гибридным комбинациям. Наибольшее количество растений-регенерантов было получено по гибридной комбинации № 1 (61 шт., 54,5 %). После яровизации и акклиматизации выжило 38 % растений от числа посаженных зародышей. Наибольшее число колосьев – 79 шт. образовалось по гибридной комбинации № 1, в среднем 1,46 колоса на одно растение. Однако не все колосья были фертильны. Результаты корреляционного анализа позволили выявить показатели, тесно коррелирующие с величиной регенерации растений, а именно высокий выход эмбриоидо- и гемморизогенных структур обеспечивает высокую частоту регенерации растений ($r = 0,769$).

Ключевые слова: озимая пшеница, межвидовые гибриды, незрелый зародыш, растение-регенерант, гемморизогенез, эмбриоидогенез.

Для цитирования: Калинина Н. В., Донцова В. Ю., Черткова Н. Г., Марченко Д. М. Получение растений-регенерантов межвидовых гибридов пшеницы с использованием незрелых зародышей в качестве эксплантов // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 52–58. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-52-58.



DEVELOPMENT OF REGENERATED PLANTS OF INTERSPECIFIC WHEAT HYBRIDS USING IMMATURE EMBRYOS AS EXPLANTS

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, valja-doncova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1083-9881;

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

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, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Nowadays particular attention in winter wheat breeding is paid to the introduction of biotechnological methods. The culture of immature embryos *in vitro* is an alternative way to produce hybrids that often do not develop fully *in vivo*. The purpose of the current study was to estimate the ability of immature embryos of interspecific winter wheat hybrids for callus induction, morphogenesis, and plant regeneration on artificial nutrient media, as well as to select optimal conditions for obtaining full-fledged plants with all the botanical characteristics of the species. The research material included 5 hybrid combinations of interspecific crosses between durum (*Triticum durum* DESF.) and common (*Triticum aestivum* L.) winter wheat. The material was collected during one field season (2022). Immature embryos were used

as explants. Culture media were according to Murashige-Skoog (MS), and they differed in the content of hormones and organic substances. There has been found that the hybrid combinations were characterized by a variety of morphogenic responses. The manifestation of callusogenesis was not high enough and averaged 22–32 % depending on the nutrient medium. Rhizogenesis averaged from 1–6.7 %, and ended with the formation of roots. The process of formation of embryoid- and hemmorizogenesis was best demonstrated by the hybrid combination No.1, and on two media. All processes of morphogenesis excepting 'rhizogenesis' varied greatly among hybrid combinations. The largest number of regenerated plants was obtained from hybrid combination No.1 (61 pcs., 54.5 %). After vernalization and acclimatization, 38 % of the plants survived from the number of planted embryos. The largest number of heads (79 pcs.) was formed according to hybrid combination No.1, on average 1.46 heads per plant. However, not all heads were fertile. The results of the correlation analysis made it possible to identify indicators that closely correlated with the amount of plant regeneration, namely, the high yield of embryoid- and hemmorizogenic structures ensured a high frequency of plant regeneration ($r = 0.769$).

Keywords: winter wheat, interspecific hybrids, immature embryo, regenerant plant, hemmorizogenesis, embryoidogenesis.

Введение. Пшеница является одной из наиболее востребованных злаковых культур не только в России, но и во всем мире. Интерес к данной культуре не иссякает. Он обусловлен не только улучшением имеющихся и созданием более перспективных, обладающих определенными качествами сортов, но и ограничением генетических ресурсов при внутривидовой гибридизации. На создание сорта при использовании только классических методов селекции, таких как скрещивание, мутагенез и искусственный отбор, уходит порядка 10 лет (Бычкова, 2016). В связи с чем особое внимание уделяется внедрению биотехнологических методов, призванных ускорить этот процесс, объединить желательные генетические признаки взаимодополняющих родителей, получить улучшенные гибриды. При этом существует проблема низкой всхожести или ее полное отсутствие у гибридных семян. Культура незрелых зародышей *in vitro* – альтернативный способ получения гибридов, которые часто не развиваются полностью *in vivo*. Поэтому для повышения эффективности гибридизации рекомендуется применять дорацивание гибридных зародышей на искусственной питательной среде до получения полноценного гибридного растения. Практическая значимость использования культуры эмбриогенеза зависит от зрелости эксплантов и устойчивой регенерации в строго контролируемых опытных условиях. Самыми универсальными эксплантами для получения морфогенных каллусов пшеницы, по мнению Кругловой и других ученых, являются незрелые зародыши, так как при получении растений их использование дает существенный выигрыш во времени в сравнении с использованием зерновок со зрелыми зародышами (Круглова и др., 2021; Гумерова и др., 2023).

Для злаковых самым трудоемким остается процесс морфогенеза, который зависит от неоднородности каллусных клеток. Морфогенез регулируется не только генотипом, типом экспланта, его возрастом, но и составом питательной среды, температурой и освещенностью (Mokhtari et al., 2013; Никитина и Хлебова, 2014).

Получение растений-регенерантов состоит из таких процессов, как индукция каллуса, соматического эмбриогенеза и органогенеза. Сельдиминова и др. (2017) в своем исследова-

нии «Роль фитогормонов в индукции каллусогенеза и регуляции путей морфогенеза каллусов злаков *in vitro*: обзор проблемы» отмечают, что в каллусах, перенесенных на среду регенерации, могут появляться разные виды морфогенеза *in vitro*: эмбриоидогенез (образование эмбриоида, то есть зародышеподобной структуры), органогенез по типам геммогенеза (образование почек и ростков), ризогенеза (образование корней), гемморизогенеза (образование и почек, и корней), а также гистогенез (образование различных тканей). При формировании органогенеза *in vitro* к образованию растений приводит гемморизогенез, в ряде случаев – геммогенез после фитогормонального индуцирования ризогенеза в том же самом каллусе, тогда как ризогенез представляет собой «тупик» морфогенеза (Сельдиминова, 2017).

Никитина и др. (2013; 2014) и Seldimirova et al. (2013) в своих исследованиях, изучая вопросы морфогенеза *in vitro*, столкнулись с утверждением ученых, что развитие почек и корневой происходит путем гемморизогенеза. Другие авторы – Benkirane et al. (2000) и Eudes et al. (2003) – считали, что процесс регенерации растений осуществляется через развитие эмбриоида, то есть соматический эмбриогенез. Однако значительная часть исследователей (Никитина и др., 2013; Никитина и Хлебова, 2014; Seldimirova and Kruglova, 2013) наблюдали одновременно и гемморизогенез, и соматический эмбриогенез (Kyriienko et al., 2021). Создание продуктивных методов индукции каллусообразования и органогенеза растений пшеницы в условиях *in vitro* является актуальной задачей и в настоящее время.

Цель исследований – оценка способности незрелых зародышей межвидовых гибридов озимой пшеницы к индукции каллуса, морфогенезу и регенерации растений на искусственных питательных средах, а также подбор оптимальных условий для получения полноценных растений со всеми ботаническими признаками вида.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследования послужили 5 гибридных комбинаций межвидовых скрещиваний между твердой (*Triticum durum* DESF.) и мягкой (*Triticum aestivum* L.) пшеницей озимого типа развития, предоставленные лаборатори-

ей селекции и семеноводства озимой твердой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Отбор материала проводили в течение одного полевого сезона (2022 г.). Для индукции каллуса брали 14–16-суточные незрелые зародыши размером 1,3–1,5 мм. Культуральные среды содержали минеральные соли и витамины по прописи Мурасиге-Скуга (MS), сахарозу (30 г/л), агар (0,7%). Индукционные среды различались по содержанию гормонов и органических веществ: MS-1 (1 мг/л 2,4-Д, 0,2 мг/л БАП, 10 мг/л аспарагин) и MS-2 (0,5 мг/л НУК, 0,2 мг/л кинетин). Стерилизацию зерновок проводили 5%-м раствором гипохлорита натрия 15–20 мин, затем трижды промывали стерильной дистиллированной водой. Извлеченные зародыши по 5–6 шт. помещали на питательную среду, разлитую в пробирки, щитком вверх и культивировали в термостате в темноте при температуре 25 °С. Незрелые семена от гибридных комбинаций скрещиваний были использованы как для эмбриокультуры, так и оставлены на созревание для того, чтобы в следующем году получить гибридные потомства. В связи с этим количество культивируемых зародышей было различным по комбинациям скрещиваний.

Полученные каллусы переносили на среду регенерации и культивировали в условиях светокультуральной комнаты при температуре 25–27 °С с освещенностью 5–10 тыс. люкс и 16-часовом фотопериоде. Среда регенерации содержала 0,3 мг/л ИУК, 0,1 мг/л БАП. Экспланты с зонами морфогенеза пассировали на безгормональную среду. При появлении второго листа растения помещали на яровиза-

цию на 40 дней при температуре 4 °С (Акинина и др., 2020). Прояривизированные растения пересаживали в сосуды с почвой и дорастивали до созревания в условиях теплицы.

Для сопоставления результатов эксперимента полученные значения пересчитывали на 100 шт. Статистический анализ проводили с использованием прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждения. Способность неполовых клеток растений полностью реализовывать свой потенциал развития до целого организма при определенных условиях выращивания определяется в первую очередь генотипическими особенностями исходной формы. Поэтому исследования были начаты с изучения реакции межвидовых гибридов озимой пшеницы на условия культивирования *in vitro*. В ходе эксперимента всего было выделено и эксплантировано 192 зародыша из гибридных комбинаций, полученных от скрещивания твердой и мягкой озимой пшеницы, из них высажено на питательную среду MS-1 – 104 шт., на среду MS-2 – 88 эксплантов.

Наблюдения за развитием зародышей на искусственных питательных средах в течение 2 месяцев показали, что гибридные комбинации характеризовались разнообразием морфогенного ответа, что связано с неоднородностью каллусных клеток. В наших исследованиях наблюдалось формирование на каллусах почек, из которых затем появлялся росток (рис. 1, б), корня (рис. 1, в, г), а также эмбриоидов и гемморизогенных структур, приводящих к регенерации растений (рис. 1, д).

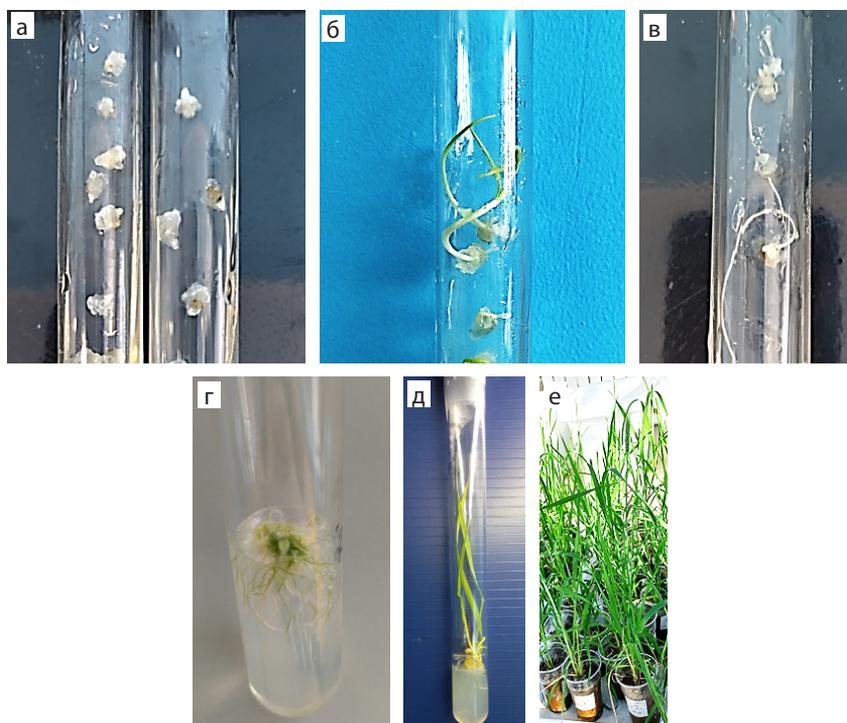


Рис. 1. Каллусо-морфогенная и регенерационная способность культуры незрелых зародышей:

а – каллус незрелых зародышей; б – геммогенез; в, г – ризогенез; д, е – развитие растений-регенерантов

Fig. 1. Callus-morphogenic and regenerative ability of the culture of immature embryos:

a – callus of immature embryos; b – hemmogenesis; c, d – rhizogenesis; d, f – development of regenerant plants

Гибридные комбинации обладали различным потенциалом к инициации клеточных делений. Число каллусов было недостаточ-

но высоким (в среднем 22–32) в зависимости от питательной среды (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика гибридных комбинаций озимой пшеницы по формообразовательной способности в культуре незрелых зародышей (2022 г.)
Table 1. Characteristics of hybrid winter wheat combinations according to their forming ability in the immature embryos (2022)

№ гибридной комбинации	Количество высаженных эксплантов, шт.	Число каллусов на 100 эксплантов	Число геммогенных структур на 100 эксплантов	Число ризогенных структур на 100 эксплантов	Число эмбриоидов и геммо-ризогенных структур на 100 эксплантов
MS-1					
1	61	42,6*	14,8*	4,9*	62,3
2	23	17,4	4,3	0,0	78,3
3	12	8,3	0,0	0,0	33,3
4	5	40,0*	40,0*	0,0	40,0
5	3	0,0	0,0	0,0	100,0
Сумма	104,0	108,3	59,1	4,9	313,9
Среднее	20,8	22,0	11,8	1,0	62,8
HCP ₀₅	–	5,3	1,53	0,98	21,57
MS-2					
1	51	35,3*	17,6	0,0	45,1*
2	27	40,7	51,9*	0,0	14,8
4	10	20,0	0,0	20,0*	0,0
Сумма	88,0	96,0	69,5	20,0	59,9
Среднее	29,3	32,0	23,2	6,7	20,0
HCP ₀₅	–	0,81	1,26	5,81	2,74

Примечание. * – достоверно при $p < 0,05$.

Каллусогенез был достоверно выше среднего значения у гибридных комбинаций № 1 и 4 на среде MS-1, а у комбинации № 2 находился на уровне среднего. На среде MS-2 по этому признаку также выделились комбинации № 1 и 2. Способность к геммогенезу в большей степени наблюдалось у гибридной комбинации № 2 на среде MS-2. Ризогенез по данным гибридным комбинациям и двум питательным средам составлял в среднем 1–6,7. Процесс органогенеза у них не достигал развития целых растений, а заканчивался образованием корней.

Процесс образования растений путем эмбриоидо- и гемморизогенеза из незрелых зародышей межвидовых гибридов пшеницы в среднем проходил лучше на питательной среде MS-1, чем на MS-2 (табл. 1). Самый высокий ответ *in vitro* в культуре незрелых зародышей был получен на среде MS-1 у гибридных

комбинаций № 1 и 2, которые сформировали 62,3 и 78,3 растения-регенеранта, а на MS-2 – 45 и 14,8 растения соответственно. Несмотря на морфогенные процессы, проходившие в каллусных тканях, у остальных гибридных комбинаций было получено незначительное количество регенерантов. Наилучшей формообразовательной способностью отличилась гибридная комбинация №1, причем на двух средах.

Высокие коэффициенты вариации выявлены у признаков «калусогенез» ($V = 52,8\%$), «геммогенез» ($V = 34,9\%$) и «гемморизогенез» ($V = 45,6\%$), что говорит о высокой степени изменчивости по отношению к среднему показателю выборки (табл. 2). Низкий коэффициент вариации имел признак «ризогенез» ($V = 1,0\%$), то есть генотипическое разнообразие гибридных комбинаций не влияло на данный признак.

Таблица 2. Статистические параметры морфогенеза в культуре незрелых зародышей (2022 г.)
Table 2. Statistical parameters of morphogenesis in the immature embryos (2022)

Показатель	Каллусогенез	Геммогенез	Ризогенез	Эмбриоидо- и геммо-ризогенез
Среднее значение (X)	12,8	7,0	1,0	18,4
Максимальное значение (Xmax)	44,0	18,0	3,0	61,0
Минимальное значение (Xmin)	0	0	0	0
Коэффициент вариации (V)	52,8	34,9	1,0	45,6

Во многих исследованиях указывается, что эмбриокультура *in vitro* используется для решения проблем прорастания

при межвидовой и внутривидовой гибридизации, в том числе незрелого селекционного материала или получения дополнительных гене-

раций в течение года. В наших исследованиях стояла задача ускоренного получения растений межвидовых гибридов. Наибольшее количество растений-регенерантов было получе-

но по гибридным комбинациям № 1, 2, причем в комбинации № 1 регенерантов образовалось достоверно больше (54,5) в сравнении со средним значением (табл. 3).

Таблица 3. Регенерационный потенциал гибридных комбинаций озимой пшеницы (2022 г.)
Table 3. Regeneration potential of hybrid winter wheat combinations (2022)

№ гибридной комбинации	Число растений-регенерантов на 100 зародышей	Число выживших растений на 100 зародышей	Число колосьев всего, шт.	Число колосьев на 1 растение, шт.
1	54,5	48,2*	79*	1,46
2	44,0	2,0	2	2,0
3	33,3	33,3	6	1,5
4	13,3	6,7	2	2,0
5	100,0	100,0	2	0,67
Сумма	245,1	190,2	91	7,63
Среднее	49,0	38,0	18,2	1,53
НСР ₀₅	9,48	4,04	4,0	0,5

Примечание. * – достоверно при $p < 0,05$.

Гибридная комбинация № 5 проявила максимальный регенерационный потенциал. Минимальным регенерационным потенциалом обладала комбинация № 4 (13,3). По всем гибридным комбинациям число растений-регенерантов на 100 зародышей в среднем составило 49.

Все нормально сформированные растения после яровизации в пробирке были пересажены в грунт для акклиматизации и доращивания в теплице. При фенологических наблюдениях за ростом и развитием пересаженных растений было отмечено, что в условиях теплицы они продолжали развиваться, однако наблюдали снижение выживаемости растений по гибридным комбинациям №1, 2 и 4. В среднем по гибридным комбинациям выжило 38 растений от числа посаженных зародышей.

При анализе созревших растений было отмечено, что по гибридной комбинации № 1 образовалось наибольшее число колосьев – 79 шт., в среднем 1,46 колоса на одно растение. По всем изучаемым гибридным комбинациям озимой пшеницы получен 91 колос. Однако не все колосья были фертильны. Нормально созревшие зерновки были хорошо выполненными, имели развитый зародыш и эндосперм.

Практический интерес представляет выявление признаков, которые оказывают наибольшее влияние на регенерацию растений при культивировании незрелых зародышей гибридов пшеницы. Результаты корреляционного анализа позволили выявить такие, которые тесно коррелировали с величиной регенерации растений (табл. 4).

Таблица 4. Корреляционные связи показателей каллусогенеза, морфогенеза и регенерации растений в культуре незрелых зародышей озимой пшеницы (2022 г.)
Table 4. Correlations of indicators of callusogenesis, morphogenesis and plant regeneration in the immature winter wheat germs (2022)

Показатель	Каллусогенез	Геммогенез	Ризогенез	Эмбриоидо- и геммо-ризогенез	Регенерация растений
Каллусогенез	1				
Геммогенез	0,304	1			
Ризогенез	0,548*	-0,477	1		
Эмбриоидо- и геммо-ризогенез	0,224	0,891	-0,877*	1	
Регенерация растений	0,405	0,469	-0,660*	0,769*	1

Примечание. * – достоверно при $p < 0,01$.

Сильная существенная положительная корреляционная связь установлена между эмбриоидо- и гемморизогенезом и регенерацией растений ($r = 0,769 \pm 0,228$), то есть нельзя исключить наличия общего регуляторного генетического механизма при их формировании, поэтому можно считать, что подбор условий, оптимальных для образования почек, ростков и эмбриоидов, будет способствовать увеличению регенерации растений.

Известно также, что между каллусогенезом и морфогенезом отсутствуют существенные связи. А именно: каллусогенез и морфогенез независимы друг от друга, то есть можно предположить, что они не имеют общих генетических регуляторов (Никитина, 2014). Это подтверждается и в наших исследованиях. Однако наблюдается средняя положительная существенная связь между каллусогенезом и ризогенезом ($r = 0,548 \pm 0,442$), что можно объяснить присутствием в индукционных средах аук-

синов, которые обуславливают образование и каллусов, и корней.

Установлена сильная существенная отрицательная корреляционная связь между эмбриоидогенезом и ризогенезом ($r = -0,877 \pm 0,121$). Это свидетельствует о том, что увеличение корнеобразования на каллусах снижает выход эмбриогенных и гемморизогенных структур, а это снижает выход регенерантов. С другой стороны, этот факт подтверждается наличием существенной отрицательной корреляционной связи между корнеобразованием и регенерацией растений ($r = -0,660 \pm 0,310$).

Таким образом, в ходе исследований установлено, что межвидовые гибриды озимой пшеницы в культуре незрелых зародышей *in vitro* способны развиваться по разным путям морфогенеза. Процесс получения растений регенерантов зависит от сопряженности с предыдущими этапами развития незрелых зародышей культуре *in vitro* и условиями их культивирования.

Выводы. В результате исследования по оценке способности незрелых зародышей межвидовых гибридов озимой пшеницы к индукции каллуса, морфогенезу и регенерации растений на искусственных питательных средах были подобраны оптимальные условия для получения полноценных растений *in vitro*.

Установлено, что среда MS-1 (1 мг/л 2,4-Д, 0,2 мг/л БАП, 10 мг/л аспарагин) была лучшей для получения регенерантов. Гибридные комбинации характеризовались разнообразием морфогенного ответа, что связано с неоднородностью каллусных клеток. Проявление каллусогенеза было недостаточно высоким в зависимости от питательной среды. Ризогенез заканчивался образованием корней. Процесс образования эмбриоидо- и гемморизогенеза из незрелых зародышей лучше всего проявился у гибридной комбинации № 1, причем на двух средах. Все процессы морфогенеза, кроме «ризогенеза», сильно варьировали по гибридным комбинациям. Наибольшее число растений-регенерантов было получено по гибридной комбинации № 1 (54,5). После яровизации и акклиматизации выжило менее 50 % растений от числа посаженных зародышей. Наибольшее число колосьев (79 шт.) образовалось по гибридной комбинации № 1, в среднем 1,46 колоса на одно растение. Результаты корреляционного анализа позволили выявить показатели, тесно коррелирующие с величиной регенерации растений, а именно: высокий выход эмбриоидо- и гемморизогенных структур обеспечивает высокую частоту регенерации растений ($r = 0,769 \pm 0,228$).

Библиографические ссылки

1. Бычкова О. В. Оценка эффективности морфогенеза и регенерации яровой твердой пшеницы в культуре *in vitro* // Acta Biologica Sibirica. 2016. Т. 2, № 1. С. 139–149. DOI: 10.14258/abs.v2i1.1225
2. Гумерова Г. Р., Галимова А. А., Кулуев Б. Р. Каллусообразование и органогенез мягкой пшеницы с использованием зрелых зародышей в качестве эксплантов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 2. С. 19–28. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-19-28
3. Круглова Н. Н., Сельдимирова О. А., Зинатуллина А. Е. Каллусные культуры *in vitro* в экспериментальной оценке засухоустойчивости хлебных злаков (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139
4. Никитина Е. Д., Хлебцова Л. П. Влияние температуры и освещения на прямое прорастание незрелых зародышей *Triticum aestivum* L. в культуре *in vitro* // Известия Алтайского государственного университета. 2014. № 3/1(83). С. 46–50. DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.1-08
5. Никитина Е. Д., Хлебцова Л. П., Соколова Г. Г., Ерещенко О. В. Создание стрессоустойчивого материала яровой мягкой пшеницы с использованием клеточной селекции *in vitro*. Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3–2(79). С. 95–98. DOI: 10.14258/izvasu(2013)3.2-20
6. Сельдимирова О. А., Круглова Н. Н., Зинатуллина А. Е. Роль фитогормонов в индукции каллусогенеза и регуляции путей морфогенеза каллусов злаков *in vitro*: обзор проблемы // Научный результат. Серия «Физиология». 2017. Т. 3, № 1. DOI: 10.18413/2409-0298-2017-3-1-8-13
7. Benkirane H., Sabounji S., Chlyah A., Chlyah H. Somatic embryogenesis and plant regeneration from fragments of immature inflorescences and coleoptiles of durum wheat // Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2000. Vol. 61. P. 107–113. DOI: 10.1023/A:1006464208686
8. Eudes F., Acharya S., Laroche A., Selinger L.B., Cheng K.J. A novel method to induce direct somatic embryogenesis, secondary embryogenesis and regeneration of fertile green cereal plants/ Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2003. Vol. 73, P. 147–157. DOI: 10.1023/A:1022800512708
9. Kyriienko A.V., Shcherbak N.L., Kuchuk M.V., Parii M.F., Symonenko Y.V. In vitro plant regeneration from mature embryos of amphidiploid spelt *Triticum spelta* L. // In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant. 2021. Vol. 57(6), P. 856–863. DOI: 10.1007/s11627-021-10158-4
10. Mokhtari A., Alizadeh H., Samadi B., Omid M., Moeini Z. Effect of plant growth regulators on direct shoot regeneration of wheat immature embryonic explants // Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology. 2013. Vol. 1(3), P. 74–80. DOI: 10.18005/JAEB0103004
11. Seldimirova O. A., Kruglova N. N. Properties of the initial stages of embryoidogenesis *in vitro* in wheat calli of various origin. Biology Bulletin. 2013. Vol. 40, № 5. P. 447–454. DOI: 10.1134/S1062359013050154

References

1. Bychkova O. V. Otsenka effektivnosti morfogeneza i regeneratsii yarovoi tvrdoj pshenitsy v kul'ture *in vitro* [Estimation of the efficiency of morphogenesis and regeneration of spring durum wheat *in vitro*] // Acta Biologica Sibirica. 2016. Т. 2, № 1. С. 139–149. DOI: 10.14258/abs.v2i1.1225
2. Gumerova G. R., Galimova A. A., Kuluev B. R. Kallusoobrazovanie i organogenez myagkoi pshenitsy s ispol'zovaniem zrelykh zarodyshei v kachestve eksplantov [Callus formation and organogenesis

of common wheat using mature embryos as explants] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2023. T. 184, № 2. S. 19–28. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-2-19-28

3. Kruglova N. N., Sel'dimirova O. A., Zinatullina A. E. Kallusnye kul'tury *in vitro* v eksperimental'noi otsenke zasukhoustoichivosti khlebnnykh zlakov (obzor) [Callus cultures *in vitro* in experimental estimation of drought resistance of cereals (review)] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2021. № 1(25). S. 124–139. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-1-25-124-139

4. Nikitina E. D., Khlebova L. P. Vliyanie temperatury i osveshcheniya na pryamoe prorastanie nezrelykh zarodyshei *Triticum aestivum* L. v kul'ture *in vitro* [Effect of temperature and lighting on direct germination of immature *Triticum aestivum* L. embryos *in vitro*] // Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 3/1(83). S. 46–50. DOI: 10.14258/izvasu(2014)3.1-08

5. Nikitina E. D., Khlebova L. P., Sokolova G. G., Ereshchenko O. V. Sozdanie stressoustoichivogo materiala yarovoi myagkoi pshenitsy s ispol'zovaniem kletochnoi selektsii *in vitro* [Development of stress-resistant spring common wheat material using cell breeding *in vitro*] // Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 3–2(79). S. 95–98. DOI: 10.14258/izvasu(2013)3.2-20

6. Sel'dimirova O. A., Kruglova N. N., Zinatullina A. E. Rol' fitogormonov v induktsii kallusogeneza i regulatsii putei morfogeneza kallusov zlakov *in vitro*: obzor problemy [The role of phytohormones in the induction of callus genesis and regulation of morphogenesis pathways of cereal calli *in vitro*: issue review] // Nauchnyi rezul'tat. Seriya «Fiziologiya». 2017. T. 3, № 1. DOI: 10.18413/2409-0298-2017-3-1-8-13

7. Benkirane H., Sabounji S., Chlyah A., Chlyah H. Somatic embryogenesis and plant regeneration from fragments of immature inflorescences and coleoptiles of durum wheat // Plant Cell Tissue and Organ Culture. 2000. Vol. 61, P. 107–113. DOI: 10.1023/A:1006464208686

8. Eudes F., Acharya S., Laroche A., Selinger L. B., Cheng K. J. A novel method to induce direct somatic embryogenesis, secondary embryogenesis and regeneration of fertile green cereal plants/ Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2003. Vol. 73, P. 147–157. DOI: 10.1023/A:1022800512708

9. Kyriienko A. V., Shcherbak N. L., Kuchuk M. V., Parii M. F., Symonenko Y. V. In vitro plant regeneration from mature embryos of amphidiploid spelt *Triticum spelta* L. // In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant. 2021. Vol. 57(6), P. 856–863. DOI: 10.1007/s11627-021-10158-4

10. Mokhtari A., Alizadeh H., Samadi B., Omidi M., Moeini Z. Effect of plant growth regulators on direct shoot regeneration of wheat immature embryonic explants // Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology. 2013. Vol. 1(3), P. 74–80. DOI: 10.18005/JAEB0103004

11. Seldimirova O. A., Kruglova N. N. Properties of the initial stages of embryoidogenesis *in vitro* in wheat calli of various origin. Biology Bulletin. 2013. Vol. 40, № 5. P. 447–454. DOI: 10.1134/S1062359013050154

Поступила: 10.10.23; доработана после рецензирования: 28.11.23; принята к публикации: 28.11.23.

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; Черткова 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.

АНАЛИЗ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ КОЛЛЕКЦИИ ВИР В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЫ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

А. М. Кагермазов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства раннеспелых гибридов кукурузы, kagermazov.alan@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8639-050X;

А. В. Хачидогов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства раннеспелых гибридов кукурузы, azamat.xa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5722-3163

Институт сельского хозяйства – филиал

ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр РАН», 360004, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224;

e-mail: kbniish2007@yandex.ru

В данной статье изложены результаты двухлетних исследований (с 2019–2020 гг.) по изучению и анализу основных элементов продуктивности линий кукурузы коллекции ВИР. Работа проводилась согласно договору о научном сотрудничестве с вовлечением в селекционную программу коллекции кукурузы ВИР в количестве 100 номеров в предгорной зоне Кабардино-Балкарии (Чегемский район, с.п. Нартан). Цель работы – изучить и оценить морфо-биологические и хозяйственно ценные признаки линий кукурузы коллекции ВИР в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии. Так, по оценке количественных признаков образцов кукурузы была сделана выборка, состоящая из 36 номеров. По высоте растений выделились 8 номеров, где значение признака составило от 2,41 до 2,47 м, а по количеству листьев – 8 образцов (от 16,4 до 16,8 шт.). По признаку прикрепления хозяйственно годного початка все выделенные линии находились в интервале выше средних значений – от 0,98–1,06 м. У остальных признаков существенных различий по сравнению со стандартом не наблюдалось. Анализ элементов продуктивности линий кукурузы коллекции ВИР позволил выделить по длине початка 13 образцов с учетом HCP_{05} , у которых значения были выше стандарта, а данный показатель был на уровне 22,5–25,2 см; по количеству рядов зерен на початке лучшие результаты наблюдались у 14 линий с варьированием признака от 18,0 до 18,6 шт., а количеству зерен в ряду початка – 18 номеров, где размах варьирования составил от 37,2 до 46,1. По выходу зерна отличились 4 линии (от 83,5 до 87,7 % в сравнении со стандартным значением 79,6 %). По одному из основных и главных комплексных признаков – урожайность зерна (при 14 % влажности) выделены 6 линий, где варьирование составило от 4,01 до 4,5 т/га.

Ключевые слова: коллекция ВИР, кукуруза, линии, хозяйственно ценные признаки, гибрид, количественные признаки, урожайность зерна.

Для цитирования: Кагермазов А. М., Хачидогов А. В. Анализ количественных и хозяйственно ценных признаков линий кукурузы коллекции ВИР в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 59–66. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-59-66.



THE ANALYSIS OF QUANTITATIVE AND ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF MAIZE LINES FROM THE VIR COLLECTION IN THE CONDITIONS OF THE FOOTHILL ZONE OF KABARDINO-BALKARIA

A. M. Kagermazov, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of early maturing maize hybrids, kagermazov.alan@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8639-050X;

A. V. Khachidogov, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of early maturing maize hybrids, azamat.xa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5722-3163

Institute of Agriculture, a branch of the FSBSI "Federal Research Center

"Kabardino-Balkarky Research Center RAN",

360004, Kabardino-Balkarskyaya Republic, Nalchik, Kirov Str., 224; e-mail: kbniish2007@yandex.ru

The current paper has presented the results of two studies in 2019–2020, the purpose of which was to analyze the main elements of productivity of maize lines from the VIR collection. The work was carried out in accordance with an agreement on scientific cooperation with the involvement of the VIR maize collection in the breeding program in the amount of 100 numbers, in the foothill zone of Kabardino-Balkaria (Chegem district, village of Nartan). The purpose of the current work was to study and evaluate the morpho-biological and economically valuable traits of maize lines from the VIR collection in the conditions of the foothill zone of Kabardino-Balkaria. Thus, according to the estimation of the quantitative traits of the maize samples, there have been selected 36 numbers. According to the plant height, there were identified 8 numbers, where the value of the trait was from 2.41 to 2.47 m, and according to the number of leaves, 8 samples were allocated from 16.4 to 16.8 pieces. According to the sign of attachment of a commercial ear, all selected lines were in the range above the mean values from 0.98–1.06 m. For other traits, there were no significant differences compared to the standard. Analysis of the elements of productivity of maize lines from the VIR collection made it possible to identify 13 samples based on ear length, considering HCP_{05} , whose values were higher than that of the standard, and this indicator was at a level of 22.5–25.2 cm. In terms of the number of grain rows

on an ear, the best results were observed in 14 lines with the trait varying from 18.0 to 18.6 pieces, and the number of grains in a row of an ear there were 18 numbers, where the range varied from 37.2 to 46.1. In terms of grain yield, there were identified the best 4 lines (from 83.5 to 87.7 % compared to the standard value of 79.6 %). In terms of one of the main and main complex traits, such as grain productivity (at 14% humidity), there were identified 6 lines, where the variation ranged from 4.01 to 4.5 t/ha.

Keywords: VIR collection, maize, lines, economically valuable traits, hybrid, quantitative traits, grain productivity.

Введение. Кукуруза, или маис (лат. *Zea mays*), – однолетнее травянистое культурное растение, единственный культурный представитель рода кукурузы (*Zea*) семейства Злаки (Poaceae). Кукуруза одна и наиболее урожайных злаковых сельскохозяйственных культур. Для получения высоких урожаев зерна кукурузы необходимы гибриды с высоким потенциалом. В мировом земледелии она занимает третье место по посевным площадям, а по валовому сбору зерна кукуруза стоит на первом месте. Посевные площади кукурузы в России в 2019 году, по данным Росстата, в сельхозпредприятиях различных категорий составили 2585,9 тыс. га, что на 5,5 % (на 133,9 тыс. га) больше, чем в 2018 году (Гурин и Евдакова, 2020).

Кукуруза – очень важная культура, которая играет важную роль в производстве продуктов питания и сырья для биоэнергетики во всем мире (Zhao and Su, 2019).

Производство кукурузы занимает значительное место в обеспечении продовольственной безопасности и борьбе с бедностью. Эта зерновая культура, выращиваемая как на орошаемых, так и на неорошаемых землях, остается важной культурой, поскольку обладает рядом преимуществ перед другими злаками, такими как рис, пшеница, просо и сорго (Ta'awi et al., 2023).

Значительным резервом повышения урожайности кукурузы является внедрение новых высокопродуктивных гибридов, устойчивых к неблагоприятным условиям внешней среды (Перченко и Сергеева, 2021).

Селекция сельскохозяйственных растений позволяет получать новые сорта и гибриды, что делает это направление науки самым результативным и развивающимся (Шпилев и др., 2022).

Создание высокоурожайных гибридов возможно только при наличии инбредных линий, отвечающих требованиям современного рынка товарной продукции зерна кукурузы и ее семеноводства. В связи с этим большое значение имеет создание и изучение исходного материала по ряду хозяйственно ценных признаков, таких как урожай зерна и зеленой массы, скорость влагоотдачи при созревании зерна, устойчивость к полеганию и перестояю на корню в поле, количественные признаки растения и початка, устойчивость к болезням и вредителям (Arraev et al., 2021).

Вовлечение в селекционную работу образцов коллекции кукурузы Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) является актуальным, поскольку в ней сосредоточен высокий потенциал для создания высокопродуктивных гиб-

ридов и сортов, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды, способных выполнять средообразующую и ресурсовосстанавливающую функцию. Коллекция ВИР служит основной базой эффективного развития такой отрасли, как сельское хозяйство (Бижоев и др., 2022).

Одним из основных резервов, направленных на увеличение ресурсов (пищевых и кормовых), являются сельскохозяйственные культуры с достаточно хорошей отдачей продуктивности на затраченные материально-технические средства. К таким культурам можно в полной степени отнести кукурузу – универсальную и наиболее урожайную среди зерновых в РФ. Ориентируясь на задачи селекции для получения и внедрения в производственную работу высокоурожайных гибридов отечественной селекции, способных конкурировать с зарубежными, главную роль отводят исходному материалу, в состав которого входят все необходимые хозяйственно ценные признаки. Следовательно, использование в селекционной работе образцов кукурузы коллекции ВИР является весьма актуальным направлением по получению высокоурожайных и высококонкурентных гибридов кукурузы.

Цель данной работы – изучить и оценить морфо-биологические и хозяйственно ценные признаки линий кукурузы коллекции ВИР в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии.

Научно-исследовательская работа проводилась с решением следующих поставленных задач:

– на основе всестороннего изучения и биометрической оценки количественных признаков линий кукурузы коллекции ВИР (высота растений, высота прикрепления початка, число листьев на главном стебле, оценка устойчивости к основным вредителям и болезням кукурузы, оценка фертильности мужских соцветий) выделить перспективный исходный материал для последующего использования в селекционной работе ИСХ КБНЦ РАН;

– провести анализ хозяйственно ценных признаков линий кукурузы (длина початка, количество рядов зерен на початке, количество зерен в рядке початка, вес 1000 зерен, консистенция, форма и окраска зерна, уборочная влажность, выход зерна, урожай зерна при пересчете на 14 %-ю влажность).

Материалы и методы исследований. Работа с образцами кукурузы коллекции ВИР проводилась на научно-производственном участке № 1 (предгорная зона) подведомственного подразделения ИСХ КБНЦ РАН (Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр

«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук») в течение двух лет – с 2019 по 2020 год.

Почва опытного участка – чернозем обыкновенный. Род почвы – карбонатный.

Разновидность почвы – тяжелосуглинистая. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка (по Чирикову): рН – 7,2; P₂O₅ подв. – 9,8 мг/100 г почвы; K₂O обм. – 7,2 мг/100 г почвы;

гумус (по Тюрину) – 4,4 %. В пахотном горизонте содержится 3,9–4,2 % гумуса, 18–27 мг азота, 27–34 мг подвижного фосфора и 230–250 мг обменного калия (Аппаев и др., 2022).

Агрометеорологические данные, представленные Гидрометцентром по КБР за годы проведенных исследований, отображены в таблице 1.

Таблица 1. Метеорологические значения за годы проведенных исследований (средние показатели 2019–2020 гг.)
Table 1. Meteorological values for the years of study (mean values in 2019–2020)

Месяцы	Значения						
	Температура воздуха, С°			Количество осадков		Относительная влажность воздуха, %	
	сред. величина	макс. величина	мин. величина	мм	% от нормы	сред. величина	мин. величина
Март	7,2	13,3	2,4	34,7	126,1	73	56
Апрель	10,3	16,5	3,5	37,9	61,2	59	38
Май	16,3	22,5	11,1	114,3	124,8	69	50
Июнь	22,4	29,0	15,6	71,6	73,2	63	42
Июль	25,2	32,1	19,7	20,2	33,6	57	34
Август	23,1	28,9	15,8	86,5	94,5	564	33
Сентябрь	19,6	26,1	13,3	20,3	37,3	65	42

В среднем за годы проведенных исследований количество осадков за период вегетации кукурузы (май – сентябрь) составило 312,9 мм. В фазу интенсивного цветения и опыления растений кукурузы (июнь – 73,2 % от нормы, июль – 32,6 % от нормы) наблюдался дефицит влаги, что повлияло на урожайность зерна линий кукурузы.

Материалом исследований послужили линии кукурузы коллекции ВИР в количестве 100 номеров. Перед закладкой опытных делянок участок был подготовлен согласно агротехнике возделывания кукурузы (внесено 200 кг/га минерального удобрения нитроаммофоса, а в фазе 3–5 листьев – междурядная культивация с подкормкой аммиачной селитрой в количестве 130 кг/га) с последующими маркированием и разбивкой на яруса. Предшествующая культура за весь период исследований – озимая пшеница. В фазе развития кукурузы 3–5 листьев проведена химическая обработка посевов послевсходовыми гербицидами баковой смеси Милагро, КС + Банвел, ВР дозе 1 л/га+ 0,5 л/га.

Делянки опытов размещали систематически в 3-кратной повторности по схеме 70 x 35 см, площадь одной делянки составила 9,8 м². Густота стояния растений формировалась в период 5–6 листьев из расчета 60 тыс. раст./га.

Посев (первая декада мая) и уборку (третья декада октября, с определением уборочной влажности зерна) линий кукурузы за весь период проведения работы выполняли вручную.

Согласно селекционной программе на изучаемых образцах в течение вегетационного периода проводили все необходимые фенологи-

ческие наблюдения по всем основным фазам развития растений. Измерения морфологических признаков кукурузы (высота растений и прикрепление хозяйственно годных початков, количество листьев на главном стебле, количество початков на растении) проводили на 10 типичных растениях каждого образца (Аппаев et al., 2021).

Фенологические наблюдения за развитием культуры, учет фертильности пыльцы проводили в соответствии с методическими указаниями по изучению и поддержанию образцов коллекции кукурузы ВИР (Шмараев, 1985), агротехнические мероприятия выполняли по методическим указаниям – по производству гибридных семян кукурузы (Сотченко и др., 2019). Описание биометрических показателей дано согласно Широкому унифицированному классификатору СЭВ вида *Zea mays* L. (Кукеков, 1977). Статистическую обработку полученных результатов выполняли по Методике полевого опыта с основами статистической обработки результатов (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. Оценка линий по основным фенотипическим признакам является определяющим звеном для дальнейшего использования их как в селекционной, так и в семеноводческой работе. Используемые в опытах линии кукурузы коллекции ВИР относились к среднепоздним и поздним группам спелости (ФАО 400–500). По учету количественных признаков в таблице 2 представлен набор из 36 наилучших линий (за исключением стандартного номера КБ 595) кукурузы, выделенных в опыте.

Таблица 2. Биометрическая оценка изучаемых количественных признаков линий кукурузы коллекции ВИР (среднее за 2019–2020 гг.)
Table 2. Biometric estimation of the studied quantitative traits of maize lines from the VIR collection (average for 2019-2020)

№ п/п	Название линий	Высота растений, м	Высота прикреп. хоз. годного початка, м	Кол-во листьев на главном стебле, шт.	Оценка фертильности мужских соцветий, баллы
1	ст. КБ 595	2,17	0,78	15,1	6
2	6105-2	2,25	1,02	16,4	6
3	6098-2	2,19	0,98	15,6	6
4	6103-2	2,20	0,90	16,6	5
5	6105-4	2,25	1,01	16,2	6
6	6105-3	2,23	1,0	15,8	6
7	6107-2	2,24	0,99	15,9	6
8	6108-1	2,24	0,89	15,7	6
9	3011	2,45	1,02	15,5	6
10	3014	2,25	0,95	15,6	4
11	3017	2,32	0,88	15,9	4
12	3001	2,39	1,03	16,4	5
13	3002	2,31	1,01	15,9	6
14	2096	2,41	0,94	16,8	6
15	2143	2,33	1,03	14,6	6
16	2099	2,37	0,97	15,7	6
17	2126	2,38	0,96	15,8	6
18	2126 А	2,30	0,98	15,1	6
19	2142	2,32	0,89	16,0	6
20	2185	2,47	1,01	16,5	6
21	2191	2,44	1,01	15,7	6
22	2127 А	2,31	0,90	15,6	5
23	0634	2,34	0,91	15,9	5
24	2209	2,41	0,91	15,8	6
25	3019	2,45	0,93	16,1	6
26	3022	2,42	1,01	16,3	6
27	3005	2,37	1,05	16,5	3
28	3002	2,33	0,95	14,2	6
29	3002 А	2,35	0,89	15,7	6
30	5728	2,31	1,01	15,9	6
31	3015	2,42	0,99	15,8	6
32	И 627406	2,35	1,0	15,6	6
33	И 627407	2,29	1,01	15,5	6
34	И 627409	2,32	1,02	15,7	6
35	И 627411	2,39	0,99	16,5	6
36	И 627404	2,38	1,03	16,6	6
37	И 627413	2,37	1,06	15,8	6
НСР ₀₅		0,22	0,18	1,2	–

Признак «высота растений» – один из важнейших признаков, который необходимо учитывать при различных направлениях селекции кукурузы. При создании гибридов для возделывания на силос и зеленый корм необходимы максимально высокорослые формы (Кривошеев и др., 2018). По данному признаку можно отметить номера 3011, 2096, 2185, 2191, 2209, 3019, 3022, 3015, которые превосходили стандартный вариант. Варьирование значений у выделенных образцов по высоте растений составило от 2,41 до 2,47 м. По высоте прикрепления початка кукурузы (данный показатель существенно влияет на выход зерна при механизированной уборке, а также на проведение самой уборки зерноуборочными машинами) большинство линий (в количестве 23: 6105-2, 6098-2, 6105-4, 6105-3, 6107-2, 3011, 3001, 3002,

2143, 2099, 2126А, 2185, 2191, 3022, 3005, 5728, 3015, И 627406, И 627407, И 627409, И 627411, И 627404, И 627413) отличались хорошими показателями и находились в пределах от 0,96 до 1,06 см с учетом НСР₀₅ = 0,18 см.

Для получения более точных результатов подсчет количества листьев (признак «количество листьев» является показателем скороспелости гибрида кукурузы) на главном стебле проводили в два срока, так как нижние листья на растениях кукурузы засыхают раньше, чем образуются последние верхние, и точно определить их количество при однократном учете невозможно. Поэтому в фазе 6–8 листьев надрезают пятый лист, а у позднеспелых и десятый. Подсчет листьев проводили сразу после появления метелок на растениях с помеченными листьями (Кагермазов и Хачидогов, 2019).

По данному признаку лучшие результаты отмечены у линий 6105-2, 6103-2, 3001, 2096, 2185, 3005, И627411, И627404. Варьирование признака у данных линий составило от 16,4 до 16,8 шт. (с учетом НСР₀₅ = 1,2 см), а у остальных номеров, отмеченных в таблице, превосходство было незначительное.

По признаку фертильность пыльцы (учитывали по 6-балльной системе) все испытуемые номера были на уровне стандартного показателя.

Анализ таблицы 2, по биометрической оценке, линий кукурузы позволил выделить 10 номеров, которые превосходили стандартное значение по нескольким показателям. Так,

линия 2185 превысила показатель стандарта по трем измерениям – высота растений, высота прикрепления хозяйственно годного початка и по количеству листьев.

Изученные в опытах хозяйственные признаки линий кукурузы – высота растений, прикрепления початка, число листьев – являются одними из определяющих звеньев в выборе линий для дальнейшего создания новых высокоурожайных гибридов кукурузы.

В таблице 3 представлен анализ хозяйственно ценных признаков лучших, выделенных в ходе 2-годичных исследований образцов кукурузы коллекции ВИР.

Таблица 3. Анализ элементов продуктивности линий кукурузы коллекции ВИР (среднее за 2019–2020 гг.)
Table 3. Analysis of the productivity elements of maize lines from the VIR collection (average for 2019-2020)

Показатели хозяйственно ценных признаков линий кукурузы коллекции ВИР								
№ п/п	Название линий	Длина початка, см	Количество рядов зерен на початке, шт.	Количество зерен в ряду початка, шт.	Масса 1000 зерен, г	Уборочная влажность, %	Выход зерна, %	Оценка урожая зерна (при пересчете на 14 %-ю влажность), т/га
1	ст. КБ 595	19,8	16,1	33,8	230	18,6	79,6	3,1
2	6097-2/1	19,5	14,2	32,2	216	18,5	80,2	2,7
3	6097-2/2	18,4	14,0	34,1	210	18,7	81,1	1,3
4	6097-4	20,3	16,2	36,1	274	18,4	79,1	1,54
5	6098-2	22,5	14,4	29,6	436	18,8	79,4	1,27
6	6101-1	17,8	12,1	20,2	201	18,4	83,1	2,31
7	6102-2	19,8	12,8	24,6	303	18,2	79,8	3,68
8	6103-2	19,7	18,4	37,4	268	18,8	79,5	3,43
9	6105-2	19,7	16,8	39,8	256	18,5	79,5	2,07
10	6107-2	23,4	12,5	25,6	295	19,8	79,8	3,44
11	6109	20,8	16,2	36,2	309	18,1	80,6	4,01
12	6113	23,4	16,6	34,2	358	20,3	79,8	4,5
13	8668	20,1	18,4	38,6	335	20,2	77,9	3,92
14	8669	19,8	16,8	31,4	270	18,4	80,2	3,01
15	2143	27,1	18,4	46,1	382	18,9	81,2	3,2
16	2126	24,6	16,8	35,8	301	18,3	79,9	2,9
17	2126 А	23,8	18,4	37,6	324	18,5	79,4	2,13
18	2185	23,7	16,4	35,1	248	19,4	83,6	2,34
19	2191	22,0	16,2	34,2	310	18,8	83,5	4,3
20	2142	23,8	18,2	38,4	285	18,0	79,4	1,99
21	2127 А	22,8	16,6	40,2	311	18,5	79,8	3,96
22	5689	18,8	16,8	41,5	258	18,6	79,8	3,34
23	3005	23,2	18,0	44,0	378	18,8	80,3	2,07
24	3001	21,5	18,1	38,8	304	18,4	74,2	3,22
25	3002	19,8	16,8	34,4	237	18,5	87,7	4,04
26	5728	20,1	18,2	41,3	244	18,2	82,6	4,1
27	3015	22,2	16,9	37,2	196	18,8	80,7	4,13
28	5730	19,8	18,0	38,2	216	19,0	80,0	2,46
29	И 627406	23,2	18,2	43,0	369	18,8	83,1	2,58
30	И 627411	25,1	18,4	37,6	393	20,1	80,2	2,97
31	И 627409	21,7	16,4	36,0	332	20,2	79,7	2,67
32	И 627413	25,0	18,4	41,1	339	21,5	79,7	2,47
33	3019	25,2	18,2	46,0	373	20,0	83,6	3,4
34	3022	21,2	18,6	41,0	265	21,2	78,9	3,32
НСР ₀₅		1,3	1,1	3,1	9,8	0,9	3,5	0,9

Как свидетельствуют данные таблицы, по признаку «длина початков» (один из важ-

ных элементов структуры урожая зерна кукурузы) лучшие показатели отмечены у следу-

ющих линий: 6098-2, 6107-2, 6113, 2143, 2126, 2185, 2127А, 3005, 3001, И 627 406, И 627 411, И 627 413, 3019, где варьирование было в пределах 22,5–25,2 см. Необходимо отметить, что данный признак весьма изменчивый, в связи с чем значение его у линий может существенно варьировать в зависимости от условий возделывания. Среди таких показателей, как количество рядов зерен на початке, лучшие результаты наблюдались у 14 линий, а именно: 6103-2, 8668, 2143, 2126А, 2142, 3005, 3001, 5728, 5730, И 627 406, И 627 409, И 627 413, 3019, 3022, где варьирование признака составило от 18,0 до 18,6 шт. А по количеству зерен в ряду выделились 18 номеров – 6103-2, 6105-2, 8668, 2143, 2126А, 2142, 2127А, 5689, 3005, 3001, 5728, 3015, 5730, И 624406, И 627411, И 627413, 3019, 3022 с варьированием данного признака от 37,2 до 46,1 шт.

Очень важный признак в производстве кукурузы – уборочная влажность зерна. В затратах на производство кукурузы послеуборочная сушка часто занимает более 50 % от всех затрат на ее выращивание. Поэтому гибриды с низкой уборочной влажностью зерна пользуются большим спросом в современном производстве (Панфилова и др., 2020). По такому немаловажному показателю, как низкая уборочная влажность зерна, в опыте не было линий, которые превосходили стандартное значение (18,6 %) с учетом $НСР_{05} = 0,9$. По выходу зерна лучшие показатели отмечены у четырех номеров – 2185, 2191, 3002, 3019. Они отличались лучшими результатами (от 83,5 до 87,7 % в сравнении со стандартом 79,6 %), у остальных номеров данный показатель был на уровне 77,9–83,1 %.

Урожайность зерна является одним из основных признаков в характеристике всех сельскохозяйственных культур (Игнатьев, 2021; Кривошеев и Игнатьев, 2018).

Повышение урожайности зерна является основной задачей селекции кукурузы. Анализ

генетической архитектуры урожайности зерна способствует генетическим улучшениям для повышения урожайности (Li et al., 2018).

Проведенный анализ урожайности зерна линий кукурузы коллекции ВИР (при пересчете на 14 %-ю влажность) показал, что за годы исследований наилучшие результаты наблюдались у 6 номеров – 6109, 6113, 2191, 3002, 5728, 3015, где варьирование составило от 4,01 до 4,5 т/га. Следует также отметить, что, помимо урожайности зерна, линии 3015, 6113, 2191 превзошли стандартный вариант еще по нескольким (количество зерен в ряду, длина початка, выход зерна) показателям.

Выводы

1. В ходе проведенных работ (2019–2020 гг.) было изучено и проанализировано 100 линий кукурузы коллекции ВИР по морфологическим и хозяйственно ценным признакам.

2. Сформирован набор выделенных номеров по оценке количественных признаков (высота растений, высота прикрепления хозяйственно годного початка, количество листьев на главном стебле, оценка фертильности мужских соцветий), состоящих из 36 линий. Выполнена выборка по основным хозяйственно полезным признакам (длина початка, количество рядов зерен на початке, количество зерен в ряду початка, масса 1000 зерен, уборочная влажность, выход зерна, оценка урожая зерна (при пересчете на 14 %-ю влажность) в количестве 33 номеров.

3. Выделенные образцы кукурузы коллекции ВИР – 6109, 6113, 2191, 2185, 3002, 3005, 5728, 3015, 3019, И 627404, И 627411 как по количественным, так и по показателям хозяйственно ценных признаков используются в селекционной работе ИСХ КБНЦ РАН по получению новых, устойчивых к абиотическим и биотическим факторам среды, отличающихся низкой влагоотдачей высокоурожайных гибридов кукурузы (зернового и силосного назначения) группы спелости ФАО 400-500.

Библиографические ссылки

1. Аппаев С. П., Кагермазов А. М., Хачидогов А. В., Бижоев М. В. Оценка новых гибридов кукурузы в условиях предгорной зоны КБР // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52, № 6. С. 29–35. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-6-3
2. Бижоев М. В., Кагермазов А. М., Хачидогов А. В., Бижоев Р. В. Изучение линий восковидной кукурузы коллекции ВИР по количественным и хозяйственно полезным признакам в КБР // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 99. С. 71–78. DOI: 10.21515/1999-1703-99-71-78
3. Гурин А. Г., Евдакова М. В. Сравнительное сортоизучение гибридов кукурузы различного эколого-географического происхождения в условиях Орловской области // Вестник аграрной науки. 2020. № 4(85). С. 3–8. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.3
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. Игнатьев А. С. Оценка новых самопыленных линий и гибридов восковидной кукурузы (*Zea mays* L. *Ceratina*) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2 (74). С. 22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-22-26
6. Кагермазов А. М., Хачидогов А. В. Изучение образцов кукурузы коллекции ВИР по основным фенотипическим признакам в предгорной зоне КБР // Вестник АПК Ставрополя. 2019. № 2(34). С. 57–61. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-57-61
7. Кривошеев Г. Я., Игнатьев Г. С. Оптимизация параметров количественных признаков гибридов кукурузы зернового использования // Зерновое хозяйство России. 2018. № 5(59). С. 35–39. DOI 10.31367/2079-8725-2018-59-5-35-39
8. Кукеков, В. Г. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов *Zea mays* L. Ленинград: ВИР, 1977. 80 с.

9. Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Авилова Ю.А., Дерунова С.Н., Буравлев А.П. Значение селекционного индекса новых гибридов кукурузы на зерно при выращивании на богаре и при орошении // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 3. С. 23–28. DOI: 10.28983/asj.y2020i3
10. Перченко Н.А., Сергеева О.Н. Испытание ультраскороспелых гибридов кукурузы французской селекции для производства зерна в условиях Томской области // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 2(74). С. 27–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-27-33
11. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Багринцева В.Н., Сотченко Е.Ф., Лавренчук Н.Ф., Супрунов А.И., Малаканова В.П., Жуков Н.И., Смирнова Л.А. Методические указания по производству гибридных семян кукурузы. Пятигорск: Колос, 2019. 27 с.
12. Шмараев Г.Е. Изучение и поддержание образцов коллекции кукурузы: (методические указания). Ленинград: ВИР, 1985. 49 с.
13. Шпилев Н.С., Ториков В.Е., Сычев С.М., Лебедев Л.В., Сычева И.В. Инновации в селекционно-семеноводческом процессе зерновых культур // *Аграрная наука*. 2022. № 9. С. 92–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-92-97
14. Appaev S.P., Kagermazov A.M., Khachidogov A.V., Bizhoyev M., Khatefov E. Development of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N.I. Vavilov institute of plant industry (VIR) // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 262, Article number: 01010. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201010
15. Li T., Qu J., Wang Y., Chang L., He K., Guo D., Zhang X., Xu S., Xue J. Genetic characterization of inbred lines from Shaan A and B groups for identifying loci associated with maize grain yield // *BMC Genet*. 2018. Vol. 19 (1), Article number: 63. DOI: 10.1186/s12863-018-0669-9
16. Ta'awu O. G., Kamalvanshi V., John S. Cost and profitability analysis of corn production (*Zea Mays* L) in Adamawa State, Nigeria // *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*. 2023. Vol. 11(1), P. 24–37. DOI:10.24203/ajafs.v11i2.7165
17. Zhao Y., Su C. Mapping quantitative trait loci for yield-related traits and predicting candidate genes for grain weight in maize // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9(1), Article number: 16112. DOI: 10.1038/s41598-019-52222-5

References

1. Appaev S.P., Kagermazov A.M., Khachidogov A.V., Bizhoyev M.V. Otsenka novykh gibridov kukuruzy v usloviyakh predgornoi zony KBR [Estimation of new maize hybrids in the foothill zone of the KBR] // *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2022. T. 52, № 6. S. 29–35. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-6-3
2. Bizhoyev M.V., Kagermazov A.M., Khachidogov A.V., Bizhoyev R.V. Izuchenie linii voskovidnoi kukuruzy kolleksii VIR po kolichestvennym i khozyaistvenno-poleznym priznakam v KBR [Study of waxy maize lines from the VIR collection based on quantitative and economically valuable traits in the KBR] // *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. № 99. S. 71–78. DOI: 10.21515/1999-1703-99-71-78
3. Gurin A.G., Evdakova M.V. Svravnitel'noe sortoizuchenie gibridov kukuruzy razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya v usloviyakh Orlovskoi oblasti [Comparative variety testing of maize hybrids of various ecological and geographical origins in the Oryol region] // *Vestnik agrarnoi nauki*. 2020. № 4(85). S. 3–8. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.4.3
4. Dospikhov, 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. Ignat'ev, A.S. Otsenka novykh samoopylennykh linii i gibridov voskovidnoi kukuruzy (*Zea mays* L. Ceratina) [Estimation of the new self-pollinated lines and hybrids of waxy maize (*Zea mays* L. Ceratina)] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 2 (74). S. 22–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-22-26
6. Kagermazov A.M., Khachidogov A.V. Izuchenie obraztsov kukuruzy kolleksii VIR po osnovnym fenotipicheskim priznakam v predgornoi zony KBR [Study of maize samples from the VIR collection according to the main phenotypic characteristics in the foothill zone of the Kabardino-Balkarian Republic] // *Vestnik APK Stavropol'ya*. 2019. № 2(34). S. 57–61. DOI: 10.31279/2222-9345-2019-8-34-57-61
7. Krivosheev G. Ya., Ignat'ev G.S. Optimizatsiya parametrov kolichestvennykh priznakov gibridov kukuruzy zernovogo ispol'zovaniya [Optimization of parameters of quantitative traits of maize hybrids for grain use] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2018. № 5(59). S. 35–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-35-39
8. Kukekov, V.G. Shirokii unifitsirovannyi klassifikator SEV i mezhdunarodnyi klassifikator SEV vidov *Zea mays* L. [Wide unified classifier COMECON and international classifier COMECON of the species *Zea mays* L.] Ленинград: ВИР, 1977. 80 с.
9. Panfilova O.N., Chugunova E.V., Avilova Yu. A., Derunova S.N., Buravlev A.P. Znachenie selektsionnogo indeksa novykh gibridov kukuruzy na zerno pri vyrashchivaniy na bogare i pri oroshenii [The value of the breeding index of new maize hybrids for grain when grown on rainfed land and under irrigation] // *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2020. № 3. S. 23–28. DOI: 10.28983/asj.y2020i3
10. Perchenko N.A., Sergeeva O.N. Ispytanie ul'traskorospelykh gibridov kukuruzy frantsuzskoi selektsii dlya proizvodstva zerna v usloviyakh Tomskoi oblasti [Testing ultra-early maturing maize hybrids of French breeding for grain production in the Tomsk region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 2(74). S. 27–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-27-33
11. Сотченко В.С., Горбачева А.Г., Багринцева В.Н., Сотченко Е.Ф., Лавренчук Н.Ф., Супрунов А.И., Малаканова В.П., Жуков Н.И., Смирнова Л.А. Методические указания по производству гибридных семян кукурузы [Methodical recommendations for the production of hybrid maize seeds]. Пятигорск: Колос, 2019. 27 с.
12. Shmaraev, G.E. Izuchenie i podderzhanie obraztsov kolleksii kukuruzy: (metodicheskie ukazaniya) [Study and maintenance of collection maize samples: (guidelines)]. Ленинград: ВИР, 1985. 49 с.

13. Shpilev N. S., Torikov V. E., Sychev S. M., Lebed'ko L. V., Sycheva I. V. Innovatsii v selektsionno-semenovodcheskom protsesse zernovykh kul'tur [Innovations in the breeding and seed-production process of grain crops] // Agrarnaya nauka. 2022. № 9. S. 92–97. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-362-9-92-97)
14. Appaev S. P., Kagermazov A. M., Khachidogov A. V., Bizhoyev M., Khatefov E. Development of self-pollinated maize lines based on the teosinte collection of the N. I. Vavilov institute of plant industry (VIR) // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262, Article number: 01010. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201010
15. Li T., Qu J., Wang Y., Chang L., He K., Guo D., Zhang X., Xu S., Xue J. Genetic characterization of inbred lines from Shaan A and B groups for identifying loci associated with maize grain yield // BMC Genet. 2018. Vol. 19 (1), Article number: 63. DOI: 10.1186/s12863-018-0669-9
16. Ta'awu O. G., Kamalvanshi V., John S. Cost and profitability analysis of corn production (Zea Mays L) in Adamawa State, Nigeria // Asian Journal of Agriculture and Food Sciences. 2023. Vol. 11(1). P. 24–37. DOI:10.24203/ajafs.v11i2.7165
17. Zhao Y., Su C. Mapping quantitative trait loci for yield-related traits and predicting candidate genes for grain weight in maize // Scientific Reports. 2019. Vol. 9(1), Article number: 16112. DOI: 10.1038/s41598-019-52222-5

Поступила: 19.07.23; доработана после рецензирования: 15.09.23; принята к публикации: 15.09.23.

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

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кагермазов А. М. – обзор литературы, анализ данных и написание статьи; Хачидогов А. В. – выполнение полевых опытов, сбор данных и математическая обработка.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЮЖНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

М. М. Иванисов, кандидат сельскохозяйственных наук, старший 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;

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

И. В. Романюкина, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, aleksandr-romanjukin@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-8679-7844;

Ю. Ю. Чухненко, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, chuhnenkoulia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0506-5375

Н. А. Ивженко, агроном лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа, natalu1998@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-9838-0828

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

Без применения адаптированных к определенным почвенно-климатическим условиям сортов трудно добиться устойчиво высоких урожаев. Генотипы должны противостоять неблагоприятным факторам окружающей среды и максимизировать использование благоприятных условий. Основная цель исследования – оценка параметров адаптивности новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ» Донской в южной зоне Ростовской области. Было проанализировано девять сортов озимой мягкой пшеницы по предшественникам: кукуруза на зерно, подсолнечник и сидеральный пар. Трехфакторный дисперсионный анализ показал, что внешние условия имеют главное влияние на формирование урожайности сортов пшеницы. Основное влияние на общую продуктивность оказывают различные предшественники (фактор «предшественник» – 46,3 %). Доля изменчивости, обусловленная различиями условий периода вегетации растений в разные годы (фактор «год»), составляет 15,1 %. Взаимодействие факторов «год × предшественник» внесло существенный вклад в общую изменчивость урожайности – 20,2 %. Благоприятные условия для формирования урожайности сортов пшеницы наблюдались по предшественнику сидеральный пар, имеющему индексы условий среды ($I_j = +12,8$), наименее благоприятные – по кукурузе на зерно ($I_j = 0,1$) и худшие – по подсолнечнику ($I_j = -12,9$). В среднем за годы исследований (2021–2023) урожайность сортов озимой мягкой пшеницы колебалась от 74,7 ц/га у сорта Аюта до 84,4 ц/га у сорта Премьера. Урожайность в основном изменялась по предшественникам: от 61,8 ц/га у сорта Аюта по подсолнечнику до 100,4 ц/га у сорта Премьера по сидеральному пару. Сорта Краса Дона и Премьера выделились по параметрам адаптивности и продуктивности, эти генотипы можно рекомендовать для селекции на адаптивность и использования в производстве.

Ключевые слова: озимая пшеница, пластичность, стабильность, гомеостатичность, стрессоустойчивость.

Для цитирования: Рыбась И.А., Иванисов М.М., Марченко Д.М., Кири А.В., Романюкина И.В., Чухненко Ю.Ю., Ивженко Н.А. Оценка параметров адаптивности сортов озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73.



ESTIMATION OF ADAPTABILITY PARAMETERS OF WINTER WHEAT VARIETIES IN THE SOUTHERN PART OF THE ROSTOV REGION

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

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

A. V. Kirin, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of semi-intensive type, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818;

I. V. Romanyukina, research-technician of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of semi-intensive type, aleksandr-romanjukin@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-8679-7844;

Yu. Yu. Chukhnenko, agronomist of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of semi-intensive type, cuhnenkoulia@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0506-5375;

N. A. Ivzhenko, agronomist of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of semi-intensive type, natalu1998@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-9838-0828
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Without the use of varieties adapted to certain soil and climatic conditions, it is difficult to obtain consistently high yields. Genotypes must withstand adverse environmental factors and maximize the use of favorable conditions. The main purpose of the current study was to estimate the adaptability parameters of new winter common wheat varieties, developed by the FSBSI "ARC "Donskoy" in the southern part of the Rostov region. There were analyzed nine winter common wheat varieties according to such forecrops, as grain maize, sunflower, and green manure fallow. Three-factor analysis of variance has shown that external conditions have a major effect on productivity formation of wheat varieties. The main influence on overall productivity was made by various forecrops (factor 'forecrop' had 46.3 %). The share of variability due to differences in the conditions of the plants' vegetation period in different years (the factor 'year') was 15.1 %. The interaction of the factors 'year × forecrop' made a significant contribution to the overall productivity variability with 20.2 %. Favorable conditions for the formation of wheat varieties' productivity were determined when sown in green manure fallow with the indices of environmental conditions ($I_j = +12.8$). The least favorable conditions were with maize for grain ($I_j = 0.1$) and the worst with sunflower ($I_j = -12.9$). On average, over the years of the study (2021–2023), the productivity of winter common wheat varieties ranged from 74.7 hwt/ha for the variety 'Ayuta' to 84.4 hwt/ha for the variety 'Premiera'. Productivity mainly changed according to the forecrops, from 61.8 hwt/ha for the variety 'Ayuta' sown after sunflower to 100.4 hwt/ha for the variety 'Premiera' sown in green manure fallow. The varieties 'Krasa Dona' and 'Premiera' had the best parameters of adaptability and productivity; these genotypes could be recommended for breeding for adaptability and use in production.

Keywords: winter wheat, adaptability, stability, homeostaticity, stress resistance.

Введение. Продуктивность зерновых культур во многом зависит от генетического потенциала генотипов. Различные сорта по-разному реагируют на внешние условия окружающей среды. Каждый генотип характеризуется набором характеристик, которые делают его подходящим для определенной зоны, и именно поэтому выбор правильного сорта крайне важен для выращивания зерновых культур. Применение новых сортов озимой пшеницы с высоким адаптивным потенциалом помогает обеспечивать стабильность в производстве зерновых в различных условиях (Петров, 2020).

Для достижения устойчиво высокой урожайности необходимо применять сорта, адаптированные к определенным климатическим и почвенным условиям (Сандухадзе и др., 2021). Высокопродуктивные генотипы должны выдерживать тяжелые условия окружающей среды и наиболее эффективно использовать благоприятные факторы.

Ценность адаптивных сортов определяется не только уровнем урожайности, но также и их экологической пластичностью, то есть возможностью показывать близкую к максимальной продуктивность в разных условиях и быстро адаптироваться к улучшению условий (Манукян и др., 2019). Чем выше роль экологической устойчивости растений в реализации их потенциальной урожайности, тем хуже почвенно-климатические и погодные условия. Для глубокого анализа и выбора ценного материала для селекции применяется комплекс методик, который помогает анализировать различия и получать данные о продуктивности и пластичности растений (Мальцева и др. 2020).

В селекции на адаптивность чаще всего ориентируются на показатели стабильности и пластичности, что позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям (Галушко и Соколенко, 2022; Коробова и др. 2016; Омаров и др. 2015; Филиппов и др. 2018). Основная цель исследований – оценка параметров адаптивности новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ» Донской» в южной зоне Ростовской области.

Материалы и методы исследований. Исследования были проведены в 2021–2023 гг. в лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полуинтенсивного типа ФГБНУ «АНЦ «Донской». Исследовали 9 сортов озимой мягкой пшеницы, которые высевали по предшественникам кукуруза на зерно, подсолнечник и сидеральный пар.

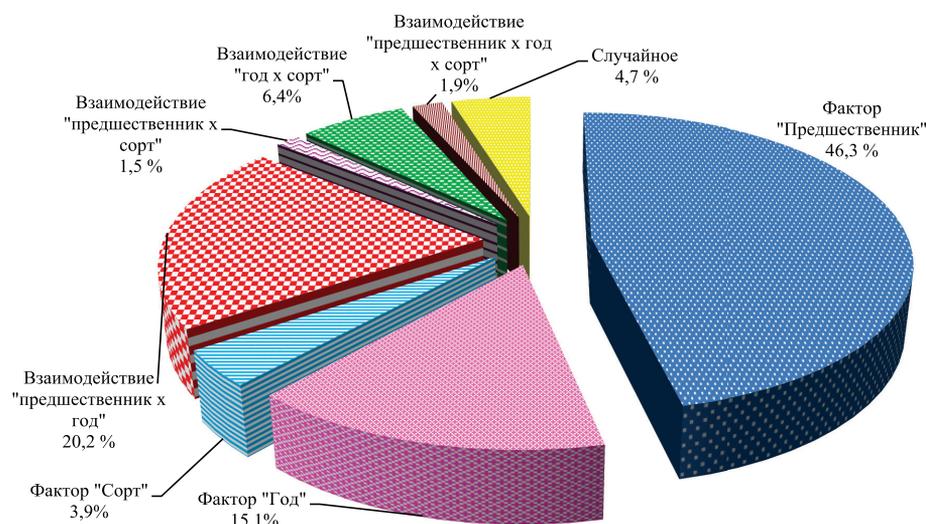
Посев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed обычным рядовым способом на глубину 4–6 см. Нормы высева составляли 450 всхожих зерен на 1 м² по предшественнику сидеральный пар и 500 всхожих зерен на 1 м² по кукурузе на зерно и подсолнечник. Учетная площадь делянки составляла 10 м². Уборку урожая осуществляли комбайном Wintersteiger Classik.

Для расчетов параметров адаптивности были использованы: коэффициент вариации по методике полевого опыта Б.А. Доспехова (2014); показатели пластичности (b_i) и стабильности (σ^2) по методике С.А. Eberhart и W.A. Russell (1966); гомеостатичность (Hom) по методике В.В. Хангильдина и Н.А. Литвиненко (1981); стрессоустойчивость ($Y_{min}-Y_{max}$) и генетическая гибкость ($(Y_{max}+Y_{min})/2$)

по уравнениям А.А. Rossielle, J. Hamblin (1981) в изложении А.А. Гончаренко (2005). Статистическую обработку проводили с помощью программ Microsoft Exsel, «AgCStat».

Результаты и их обсуждение. Различные взаимодействия между генотипом и окружающей средой определялись с помощью трехфакторного дисперсионного анализа, это необходимо для корректного проведения расчетов экологической пластичности. Основным фактором, влияющий на общую изменчивость продуктивности, связан с различными пред-

шествующими культурами (фактор «предшественник» составляет 46,3 %). Изменчивость, связанная с разнообразием условий периода вегетации растений в разные годы (фактор «год»), составляет 15,1 %. Взаимодействие факторов «год x предшественник» добавляет еще 20,2 % к общей изменчивости урожайности. Доля изменчивости урожайности, обусловленная сортавыми различиями, вносит 3,9 % и взаимодействие факторов «год x генотип» составляет 6,4 % (см. рис.).



Вклад генотипа агроэкологических факторов и их взаимодействий в изменчивость урожайности, %
Contribution of a genotype of agroecological factors and their interactions to variability of productivity, %

Для описания условий выращивания был рассчитан индекс условий среды, который может иметь как положительные, так и отрицательные значения. Наилучшие условия для формирования урожайности сортов пшеницы наблюдались по предшественнику сидеральный пар с индексом условий среды $I_j = +12,8$, а наименее благоприятные – по предшественникам кукуруза на зерно ($I_j = 0,1$) и подсолнечник ($I_j = -12,9$). В период 2021–2023 гг. средняя урожайность сортов пшеницы меня-

лась от 74,5 ц/га у сорта Аюта до 84,4 ц/га у сорта Премьера.

Урожайность наиболее значительно изменялась в зависимости от предшествующей культуры: от 61,8 ц/га у сорта Аюта по подсолнечнику до 100,4 ц/га у сорта Премьера по сидеральному пару (табл. 1). Наибольшее превышение средней урожайности по опыту (77,6 ц/га) наблюдали у сорта Премьера (84,4 ц/га) с прибавкой 6,8 ц/га.

Таблица 1. Средняя урожайность сортов озимой пшеницы по предшественникам, ц/га (2021–2023 гг.)
Table 1. Mean productivity of winter wheat varieties according to forecrops hwt/ha (2021–2023)

Сорт	Урожайность по предшественникам, ц/га			
	Подсолнечник	Сидеральный пар	Кукуруза на зерно	Средняя
Краса Дона	68,8	94,7	80,1	81,2
Вольный Дон	65,6	82,9	77,0	75,2
Жаворонок	63,0	90,3	77,3	76,9
Полина	62,7	92,8	75,7	77,1
Амбар	63,3	88,7	75,9	76,0
Подарок Крыму	63,5	87,5	74,7	75,2
Премьера	67,7	100,4	85,1	84,4
Золотой колос	65,4	90,0	77,4	77,6
Аюта	61,8	86,0	76,3	74,7
Средняя по предшественнику	64,7	90,4	77,7	77,6
Индексы условий среды (I_j)	-12,9	+12,8	0,1	–
НСР ₀₅	6,76			

При посеве по предшественнику подсолнечнику урожайность варьировала от 61,8 (Аюта) до 68,8 ц/га (Краса Дона). Наиболее высокую урожайность показал сорт Краса Дона, кото-

рый достоверно превышал среднюю по предшественнику (64,7 ц/га) на 4,1 ц/га, а у сорта Премьера превышение составило 3,0 ц/га, что было в пределах НСР₀₅ (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность и параметры адаптивности сортов озимой пшеницы по предшественникам (2021–2023 гг.)
Table 2. Productivity and adaptability parameters of winter wheat varieties according to forecrops (2021–2023)

Сорт	Урожайность, ц/га		bi	σ ²	V, %	Hom	Ymin–Ymax	(Ymax+Ymin)/2
	min–max	Средняя						
Предшественник подсолнечник								
Краса Дона	61,4–74,1	68,8	0,85	0,31	9,88	479,0	-12,7	67,8
Вольный Дон	62,0–68,2	65,6	0,42	0,06	4,29	1004,4	-6,2	65,1
Жаворонок	60,0–65,5	63,0	0,31	1,96	4,47	888,5	-5,5	62,8
Полина	50,1–76,0	62,7	1,54	26,24	17,15	229,5	-25,9	63,1
Амбар	51,8–71,0	63,3	1,32	0,08	13,27	302,2	-19,2	61,4
Подарок Крыму	60,8–65,9	63,5	0,32	0,44	3,77	1070,2	-5,1	63,4
Премьера	52,3–78,3	67,7	1,77	0,47	17,09	268,5	-26,0	65,3
Золотой колос	52,3–72,5	65,4	1,43	5,72	14,20	301,0	-20,2	62,4
Аюта	52,0–69,2	61,8	1,04	14,23	12,56	304,4	-17,2	60,6
Средняя	55,9–70,3	64,7	–	–	–	–	–	–
НСР ₀₅ = 3,01								
Предшественник кукуруза на зерно								
Краса Дона	73,2–86,9	80,1	1,15	4,08	7,58	846,2	-13,7	83,5
Вольный Дон	74,3–81,9	77,0	0,19	16,94	4,61	1286,9	-7,6	78,1
Жаворонок	76,6–78,1	77,3	-0,13	0,04	0,95	6319,7	-1,5	76,9
Полина	70,3–82,6	75,7	0,96	9,41	7,26	789,9	-12,3	78,4
Амбар	64,6–81,9	75,9	1,67	5,55	10,82	532,8	-17,3	73,2
Подарок Крыму	73,1–76,4	74,7	-0,22	1,18	4,40	1269,2	-3,3	73,9
Премьера	66,7–97,3	85,1	2,84	0,13	17,78	407,1	-30,6	78,9
Золотой колос	69,7–84,1	77,4	1,25	1,92	7,66	781,9	-14,4	81,2
Аюта	67,8–81,6	76,3	1,30	0,27	8,18	712,1	-13,8	80,5
Средняя	71,3–82,2	77,7	–	–	–	–	–	–
НСР ₀₅ = 2,31								
Предшественник сидеральный пар								
Краса Дона	83,1–112,4	94,7	0,91	2,10	14,18	632,3	-29,3	97,7
Вольный Дон	61,5–103,8	82,9	1,20	31,98	22,72	302,2	-42,3	82,6
Жаворонок	75,8–106,5	90,3	0,90	6,11	13,93	585,7	-30,7	91,1
Полина	78,0–115,1	92,8	1,15	2,53	17,47	493,2	-37,1	96,5
Амбар	72,0–113,2	88,7	1,13	100,05	20,02	393,3	-41,2	92,6
Подарок Крыму	70,0–102,4	87,5	0,89	38,16	15,62	489,9	-32,4	86,2
Премьера	85,2–119,9	100,4	0,87	95,40	17,55	574,3	-34,7	102,5
Золотой колос	75,6–104,5	90,0	0,83	12,08	13,12	616,8	-28,9	90,0
Аюта	66,4–105,5	86,0	1,11	25,31	19,23	385,0	-39,1	85,9
Средняя	76,4–109,3	90,4	–	–	–	–	–	–
НСР ₀₅ = 2,83								

Примечание. bi – пластичность (коэффициент линейной регрессии), σ² – стабильность (дисперсия), V – изменчивость урожайности (коэффициент вариации), Hom – гомеостатичность, Ymin–Ymax – стрессоустойчивость, (Ymax+Ymin)/2 – генетическая гибкость.

По предшественнику кукуруза на зерно урожайность изменялась от 74,7 (Подарок Крыму) до 85,1 ц/га (Премьера). Сорт Премьера сформировал наибольшую урожайность – 85,1 ц/га, превысив среднюю по предшественнику (77,7 ц/га) на 7,4 ц/га, а сорт Краса Дона с урожайностью 80,1 ц/га превысил среднюю на 2,4 ц/га, что было в пределах НСР₀₅. По предшественнику сидеральный пар урожайность колебалась от 82,9 (Вольный Дон) до 100,4 ц/га (Премьера). Высокая урожайность была получена у сортов Краса Дона (94,7 ц/га) и Премьера

(100,4 ц/га), данные генотипы достоверно превысили среднюю урожайность по предшественнику (90,4 ц/га) на 4,3 и 10,0 ц/га соответственно.

Чтобы оценить адаптивные качества сортов в различных условиях, была применена методика S. A. Eberchart и W. A. Russell (1966). Одним из ключевых показателей является коэффициент линейной регрессии.

К высоко отзывчивым генотипам относились сорта Полина (bi = 1,54), Премьера (bi = 1,77), Амбар (bi = 1,32) и Золотой колос (bi =

1,43) по предшественнику подсолнечник; Краса Дона ($b_i = 1,15$), Амбар ($b_i = 1,67$), Премьера ($b_i = 2,84$), Золотой колос ($b_i = 1,25$) и Аюта ($b_i = 1,30$) – кукуруза на зерно; Вольный Дон ($b_i = 1,20$), Полина ($b_i = 1,15$), Амбар ($b_i = 1,13$) и Аюта ($b_i = 1,11$) – сидеральный пар, у которых коэффициент регрессии превышает единицу.

К экологически пластичным генотипам по предшественникам следует отнести сорта Аюта ($b_i = 1,04$) – предшественник подсолнечник, Полина ($b_i = 0,96$) – кукуруза на зерно, Краса Дона ($b_i = 0,91$) и Жаворонок ($b_i = 0,90$), Подарок Крыму ($b_i = 0,89$), Премьера ($b_i = 0,87$) – сидеральный пар, имеющие коэффициент регрессии, близкий к единице.

По предшественнику подсолнечник сорта Вольный Дон ($\sigma^2 = 0,06$) и Амбар ($\sigma^2 = 0,08$); по кукурузе на зерно – Жаворонок ($\sigma^2 = 0,04$), Премьера ($\sigma^2 = 0,13$) и Аюта ($\sigma^2 = 0,27$); по сидеральному пару – Краса Дона ($\sigma^2 = 2,10$) и Полина ($\sigma^2 = 2,53$) относились к числу стабильных генотипов, так как значение σ^2 стремится к нулю.

Одним из основных способов определения относительной изменчивости урожайности сортов является коэффициент вариации, характеризующий его стабильность по данному признаку. Стабильность генотипа будет возрастать при снижении его изменчивости, что может оказать отрицательное влияние на приспособленность к различным условиям среды (Юсова и др., 2020).

Показатель гомеостатичности и низкая вариабельность продуктивности характеризуют устойчивость признака в изменяющихся условиях среды (Тулякова и др., 2021).

К стабильным генотипам, имеющим высокие значения гомеостатичности и низкие значения коэффициента вариации, относились сорта Вольный Дон ($Hom = 1004,4$ и $CV = 4,29\%$), Жаворонок ($Hom = 888,5$ и $CV = 4,47\%$) и Подарок Крыму ($Hom = 1070,2$ и $CV = 3,77\%$) – подсолнечник; Вольный Дон ($Hom = 1286,9$ и $CV = 4,61\%$), Жаворонок ($Hom = 6319,7$ и $CV = 0,95\%$) и Подарок Крыму ($Hom = 1269,2$ и $CV = 4,40\%$) – кукуруза на зерно; Краса Дона ($Hom = 632,3$ и $CV = 14,18\%$), Жаворонок ($Hom = 585,7$ и $CV = 13,93\%$) и Золотой колос ($Hom = 616,8$ и $CV = 13,12\%$) – сидеральный пар.

Стрессоустойчивость считается ключевым параметром адаптивности сортов озимой пше-

ницы, которая определяется разницей между минимальным и максимальным значением признака. Сорта Вольный Дон ($Y_{min}-Y_{max} = -6,2$), Жаворонок ($Y_{min}-Y_{max} = -5,5$) и Подарок Крыму ($Y_{min}-Y_{max} = -5,1$) по предшественнику подсолнечник; Вольный Дон ($Y_{min}-Y_{max} = -7,6$), Жаворонок ($Y_{min}-Y_{max} = -1,5$) и Подарок Крыму ($Y_{min}-Y_{max} = -3,3$) – по кукурузе на зерно; Краса Дона ($Y_{min}-Y_{max} = -29,3$), Жаворонок ($Y_{min}-Y_{max} = -30,7$), Подарок Крыму ($Y_{min}-Y_{max} = -32,4$) и Золотой колос ($Y_{min}-Y_{max} = -28,9$) – по сидеральному пару являлись стрессоустойчивыми генотипами.

Показатель $(Y_{max}+Y_{min})/2$ представляет средний уровень урожайности сорта в различных условиях и показывает генетическую гибкость и способность компенсации сорта. Большее значение этого показателя указывает на лучшее соответствие между генотипом сорта и условиями среды (Богдан и др., 2023). Генетически гибкими генотипами являлись сорта Краса Дона ($(Y_{max}+Y_{min})/2 = 83,5$), Золотой колос ($(Y_{max}+Y_{min})/2 = 81,2$) и Аюта ($(Y_{max}+Y_{min})/2 = 80,5$) по предшественнику кукуруза на зерно; Краса Дона ($(Y_{max}+Y_{min})/2 = 97,7$), Полина ($(Y_{max}+Y_{min})/2 = 96,5$) и Премьера ($(Y_{max}+Y_{min})/2 = 102,5$) по предшественнику сидеральный пар отличались высокой степенью соответствия генотипа условиям окружающей среды.

Выводы. Основной вклад в изменчивость урожайности оказывает фактор разных предшественников, доля которого составляет 46,3%. Влияние разнообразия климатических условий за разные годы (фактор «год») составляет 15,1%. Взаимодействие этих факторов также внесло значительный вклад в изменчивость – 20,2%.

Сорта Краса Дона и Премьера сформировали высокую урожайность в среднем за годы исследований (81,2 и 84,4 ц/га) и по изучаемым предшественникам: подсолнечник – 68,8 и 67,7 ц/га; кукуруза на зерно – 80,1 и 85,1 ц/га; сидеральный пар – 94,7 и 100,4 ц/га соответственно.

По параметрам адаптивности выделились сорта Краса Дона и Премьера, данные генотипы можно рекомендовать для селекции на адаптивность и для использования в производстве.

Библиографические ссылки

1. Богдан П. М., Клыков А. Г., Коновалова И. В., Кузьменко Н. В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 1. С. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Адаптивность сортов озимой пшеницы, возделываемых в условиях Северо-Кавказского региона // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50
3. Гончаренко, А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. 2005. № 6. С. 49–53.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Коробова Н. А., Коробов А. П., Козлов А. А., Лысенко А. А. Экологическая пластичность и урожайность сортов зернового гороха // Достижения науки и техники АПК. 2026. Т. 30, № 2. С. 85–88.

6. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю., Катаева Н. В. Стабильность урожая озимой пшеницы и возможность ее возделывания в Зауралье // Кормопроизводство. 2020. № 7. С. 32–36. DOI: 10.25685/KRM.2020.7.2020.005
7. Манукян И. Р., Басиева Е. С., Мирошникова Е. С., Абиев В. Б. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа // Аграрный вестник Урала. 2019. № 4 (183). С. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158
8. Омаров М. Д., Беседина Т. Д., Омарова З. М. Оценка адаптивного потенциала сортов хурмы восточной (DIOSPYROS KAKI) в условиях Абхазии // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 5(56). С. 131–139.
9. Петров, Л. К. Оценка урожайности, экологической стабильности и пластичности сортов озимой пшеницы в условиях Нижегородской области // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 3. С. 6–9. DOI: 10.31857/S2500262720030023
10. Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы, элементы ее структуры и адаптивные свойства в условиях Нечерноземной зоны // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 3(39). С. 17–22. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-17-22
11. Тулякова М. В., Баталова Г. А., Лоскутов И. Г., Пермякова С. В., Кротова Н. В. Оценка адаптивных параметров коллекционных образцов овса пленчатого по урожайности в условиях Кировской области // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182, № 1. С. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79
12. Филиппов Е. Г., Донцова А. А., Брагин Р. Н. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов и линий озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. 2018. Т. 56, № 2. С. 10–13.
13. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Науч.-техн. бюл. ВСГИ. 1981. № 1. С. 8–14.
14. Юсова О. А., Николаев П. Н., Бендина Я. Б., Сафонова И. В., Аниськов Н. И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181, № 4. С. 44–55. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55
15. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop science. 1966. № 6(1). P. 36–40.

References

1. Bogdan P. M., Klykov A. G., Konovalova I. V., Kuz'menko N. V. Adaptivnyi potentsial yarovoi tvrdoi pshenitsy (*Triticum durum* Desf.) v usloviyakh Primorskogo kraia [Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the conditions of Primorsky Krai] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2023. Т. 184, № 1. S. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Galushko N. A., Sokolenko N. I. Adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy, vozdelevyaemykh v usloviyakh Severo-Kavkazskogo regiona [Adaptability of winter wheat varieties cultivated in the conditions of the North Caucasus region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. Т. 36, № 5. S. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50
3. Goncharenko, A. A. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур [On the adaptability and environmental sustainability of grain crop varieties] // Vestnik RASKhN. 2005. № 6. S. 49–53.
4. Dospikhov, 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)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
5. Korobova N. A., Korobov A. P., Kozlov A. A., Lysenko A. A. Ekologicheskaya plastichnost' i urozhainost' sortov zernovogo gorokha [Ecological adaptability and productivity of grain pea varieties] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2026. Т. 30, № 2. S. 85–88.
6. Mal'tseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu., Kataeva N. V. Stabil'nost' urozhaya ozimoi pshenitsy i vozmozhnost' ee vozdelevyvaniya v Zaural'e [Stability of the winter wheat yields and the possibility of its cultivation in the Trans-Ural region] // Kormoproizvodstvo. 2020. № 7. S. 32–36. DOI: 10.25685/KRM.2020.7.2020.005
7. Manukyan I. R., Basieva E. S., Miroshnikova E. S., Abiev V. B. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh predgornoi zony Tsentral'nogo Kavkaza [Estimation of the ecological adaptability of winter wheat varieties in the conditions of the foothill zone of the Central Caucasus] // Agrarnyi vestnik Urala. 2019. № 4 (183). S. 20–26. DOI: 10.32417/article_5cf94f63b4d0f7.46300158
8. Omarov M. D., Besedina T. D., Omarova Z. M. Otsenka adaptivnogo potentsiala sortov khurmy vostochnoi (DIOSPYROS KAKI) v usloviyakh Abkhazii [Estimation of the adaptive potential of eastern persimmon varieties (DIOSPYROS KAKI) in the conditions of Abkhazia] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 5(56). S. 131–139.
9. Petrov, L. K. Otsenka urozhainosti, ekologicheskoi stabil'nosti i plastichnosti sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti [Estimation of productivity, environmental stability, and adaptability of winter wheat varieties in the conditions of the Nizhny Novgorod region] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2020. № 3. S. 6–9. DOI: 10.31857/S2500262720030023
10. Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V. Urozhainost' sortov ozimoi myagkoi pshenitsy, elementy ee struktury i adaptivnye svoystva v usloviyakh Nечерноземной zony [Productivity of winter common wheat varieties, elements of its structure and adaptive properties in the conditions of the Non-Blackearth Zone] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2021. № 3(39). S. 17–22. DOI: 10.24412/2309-348X-2021-3-17-22
11. Tulyakova M. V., Batalova G. A., Loskutov I. G., Permyakova S. V., Krotova N. V. Otsenka adaptivnykh parametrov kolleksiionnykh obraztsov ovsa plenchatogo po urozhainosti v usloviyakh Kirovskoi oblasti [Estimation of adaptive parameters of collection samples of hulled oats according to productivity

in the conditions of the Kirov region] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2021. T. 182, № 1. S. 72–79. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-72-79

12. Filippov E.G., Dontsova A.A., Bragin R.N. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti sortov i liniy ozimogo yachmenya [Estimation of the ecological adaptability and stability of winter barley varieties and lines] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. T. 56, № 2. S. 10–13.

13. Khangil'din V. V., Litvinenko N.A. Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties] // Nauch.-tekhn. byul. VSGI. 1981. № 1. S. 8–14.

14. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Ya. B., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Stressoustoichivost' sortov yachmenya razlichnogo agroekologicheskogo proiskhozhdeniya dlya uslovii rezko kontinental'nogo klimata [Stress resistance of barley varieties of various agro-ecological origins to the extreme continental climate conditions] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. T. 181, № 4. S. 44–55. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55

15. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop science. 1966. № 6 (1). P. 36–40.

Поступила: 13.10.23; доработана после рецензирования: 28.11.23; принята к публикации: 29.11.23.

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. Рыбась И. А. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Иванисов М. М. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов; Марченко Д. М. – общее научное руководство, критический анализ текста; Кирин А. В., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю., Ивженко Н. А. – выполнение полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.11*324*: 631.8

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-74-81

РАСТЕНИЕВОДЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЕ КАЧЕСТВО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОМПЛЕКСНЫХ УДОБРЕНИЙ

М. В. Дятлова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий, m.dyatlova.psk@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0003-4651-1263;

Т. В. Шайкова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий, t.shaykova.psk@fncl.ru ORCID ID: 0000-0001-7309-5328;

Е. С. Волкова, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, e.volkova.psk@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0002-1762-0957

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»,
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 17/56; e-mail: info@fncl.ru

Цель исследований – изучить влияние минеральных и комплексных удобрений с макро- и микроэлементами, приемов и способов их внесения на урожайность и отдельные элементы качества растениеводческой продукции при возделывании озимой пшеницы в условиях Северо-Запада РФ. Исследования проводили на опытных полях ФГБНУ ФНЦ ЛК ОП Псковский НИИСХ в 2020–2021 годы. Объектами исследований являлись озимая пшеница сорта Скипетр, минеральные и комплексные удобрения. Основное внесение минеральных удобрений ($N_{40}P_{50}K_{70}$) обеспечивало благоприятные условия питания растений с начала вегетации, применение комплексных удобрений по посевам способствовало устранению дефицита в питательных элементах в следующие фазы развития. В исследованиях установлено положительное влияние минеральных и жидких комплексных удобрений на рост урожайности зерна озимой пшеницы (от 0,32 до 0,96 т/га по вариантам опыта); на содержание азота в зерне (на 9–13 %) при стабильном уровне фосфора и калия; на выход сырого протеина с единицы площади (от 1,5 до 44,8 кг/га) с урожаем основной и побочной продукции; на формирование более полновесного зерна (на 0,5–2,6 г) с увеличением массовой доли сырой клейковины. Использование комплексных удобрений Кодафол и Страда N в период вегетации позволило получить по ряду показателей наибольшие прибавки. Оценка агрономической эффективности изучаемых агроприемов показала, что наибольшая окупаемость 1 кг NPK прибавкой урожая достигнута на вариантах опыта с обработкой посевов препаратами Кодафол (на фоне минерального питания $N_{40}P_{50}K_{70}$) и Страда N (на фоне $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$) 4,7–6,7 и 4,8–6,8 кг зерна соответственно.

Ключевые слова: озимая пшеница, качество, минеральные удобрения, комплексные удобрения.

Для цитирования: Дятлова М. В., Шайкова Т. В., Волкова Е. С. Растениеводческая продукция озимой пшеницы и ее качество при использовании комплексных удобрений // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 74–81. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-74-81.

**WINTER WHEAT CROP PRODUCTION AND ITS QUALITY WHEN USING COMPLEX FERTILIZERS**

M. V. Dyatlova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for agrotechnologies, m.dyatlova.psk@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0003-4651-1263;

T. V. Shaikova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for agrotechnologies, t.shaykova.psk@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0001-7309-5328;

E. S. Volkova, senior researcher of the laboratory for agrotechnologies, e.volkova.psk@fncl.ru, ORCID ID: 0000-0002-1762-0957

FSBSI “Federal Research Center of Fiber Crops”,
170041, Russian Federation, Tver, Komsomolsky Av., 17/56; e-mail: info@fncl.ru

The purpose of the current study was to estimate the effect of mineral and complex fertilizers with macro- and microelements, methods, and methods of their application upon productivity and individual quality elements of crop products when cultivating winter wheat in the conditions of the North-West of the Russian Federation. The study was carried out on the experimental plots of the FSBSI FRC LK OP Pskov Research Institute of Agriculture in 2020–2021. The objects of the study were the winter wheat variety ‘Skipetr’, mineral and complex fertilizers. The main application of mineral fertilizers ($N_{40}P_{50}K_{70}$) provided favorable conditions for plant nutrition from the beginning of a vegetation period. The use of complex fertilizers for crops helped eliminate the deficiency in nutrients in the following phases of development. The trials have established a positive effect of mineral and liquid complex fertilizers on winter wheat productivity improvement (from 0,32 to 0,96 t/ha according to the trial variants); on the nitrogen content in grain (by 9–13 %) with a stable level of phosphorus and potassium; on crude protein yield per unit area (from 1.5 to 44.8 kg/ha) with the yields of main and by-products; on the formation of more filled grain (by 0.5–2.6 g) with an increase in the mass fraction of raw gluten. The use of complex fertilizers ‘Kodafol’ and ‘Strada N’ during the vegetation period made it possible to obtain the greatest increase in a number of indicators. An estimation of the agronomic efficiency of the studied agricultural practices has shown that the greatest return on 1 kg of NPK in terms of productivity increase was achieved in the trial variants treated with ‘Kodafol’ (against the background of mineral nutrition $N_{40}P_{50}K_{70}$) and ‘Strada N’ (against the background of $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$) with 4.7–6.7 and 4.8–6.8 kg of grain, respectively.

Keywords: winter wheat, quality, mineral fertilizers, complex fertilizers.

Введение. Совершенствование адаптивных агротехнологий является необходимым условием активного развития агропромышленного производства с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур и показателей качества при рациональном использовании удобрений. Перспективным направлением является включение в агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур современных комплексных препаратов, содержащих в легкодоступной для растений форме макро- и микроэлементы (Гуреев и др., 2021). Применение комплексных удобрений предпочтительно в листовых подкормках в сравнении с внесением их в почву (Sakmak et al., 2017). Оптимизация микроэлементного питания растений стимулирует биохимические процессы, активизирует рост растений, повышает иммунитет и устойчивость к стрессам и, как результат, способствует увеличению продуктивности сельскохозяйственных культур, качества производимой продукции, что отмечено многими исследователями (Митрохина, 2022; Khaibullin et al., 2022; Meena et al., 2021).

Малая изученность эффективности современных комплексных удобрений, содержащих набор макро- и микроэлементов в различных сочетаниях и концентрациях, способов их применения, и обусловила проведение научных исследований на озимых зерновых в условиях Северо-Западного региона РФ.

Цель исследований – изучить влияние минеральных и комплексных удобрений с макро- и микроэлементами, приемов и способов их внесения на урожайность и отдельные элементы качества растениеводческой продукции при возделывании озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований.

Экспериментальную работу проводили на опытных полях ФГБНУ ФНЦ ЛК ОП Псковского НИИСХ в 2020–2021 годах. Почва опытных участков – дерново-слабоподзолистая супесчаная среднекультуренная, характеризующаяся реакцией почвенного раствора pH_{KCl} 6,4, средним и высоким содержанием фосфора (180–250 мг/кг), повышенным – подвижного калия (126–146 мг/кг), гумуса – 2,1.

Влияние минеральных и комплексных удобрений изучали в полевом опыте на озимой пшенице сорта Скипетр. Минеральные удобрения вносили вручную под предпосевную культивацию в дозе $\text{N}_{40}\text{P}_{50}\text{K}_{70}$. Ранневесеннюю подкормку посевов в дозе N_{20} проводили при возобновлении вегетации растений пшеницы согласно схеме опыта. Комплексные жидкие удобрения применяли следующим образом: для предпосевной обработки семян – Микромак (в дозе 2 л/т), а в период вегетации, в качестве листовой подкормки в фазы кущения и выхода в трубку, такие как Кодима Р (в дозе 1 л/га), Кодафол (2 л/га), Микроэл (0,2 л/га),

Страда N (3 л/га). Для обработки семян и посевов использовали ранцевый опрыскиватель. Изучаемые препараты характеризуются широким набором входящих в их состав макро- и микроэлементов (N, K, P, Fe, Mo, Cu, Zn, Mn, B, Mg, Co, Cr, Ni, Li, Se, S) в легкодоступной для растений форме, микроэлементы – в форме хелатов, имеющих пролонгированное действие. В засушливых условиях жидкая форма удобрений предпочтительна в сравнении с твердой.

Исследования проводили согласно Методике полевого опыта (Доспехов, 2014). Предшественник – чистый пар. Агротехника возделывания – общепринятая для региона. Посев проводили в первой половине сентября с нормой высева 5 млн всхожих семян. Посевные качества зерна определяли массой 1000 семян – 42–43 г, лабораторной всхожестью – 92–93 %. Площадь опытной делянки составила 19,5 м², повторность опыта – 4-кратная. Уборка озимой пшеницы проведена в третьей декаде июля прямым комбайнированием. Влажность зерна при уборке составила 12,2–15,7 %.

В ходе работы проведены фенологические наблюдения, учет урожая зерна, морфологический анализ растений, химические анализы растительных и почвенных образцов.

Метеорологические условия периодов вегетации культуры характеризовались резкими перепадами температур, неравномерностью выпадения осадков, зимними оттепелями (рис. 1).

Условия влагообеспеченности по годам в период весенней и летней вегетации характеризовались как очень засушливые: в 2020 г. с ГТК = 0,55, в 2021 г. – с достаточной влагообеспеченностью с ГТК = 1,1. Однако этот показатель заметно варьировал по фенологическим фазам культуры, что позволило определить эффективность минеральных удобрений в сочетании с изучаемыми комплексными препаратами в складывающихся погодных условиях.

Результаты и их обсуждение. В среднем за 2 года исследований урожайность зерна озимой пшеницы на контроле составила 1,85 т/га (табл. 1).

Применение изучаемых препаратов для обработки семян перед посевом и растений в период вегетации способствовало получению дополнительно по вариантам опыта от 0,02 до 0,42 т/га зерна. Наибольшая урожайность озимой пшеницы на фоне минерального питания $\text{N}_{40}\text{P}_{50}\text{K}_{70}$ получена при использовании препарата Кодафол – 2,59 т/га в блоке данных без обработки семян и 2,92 т/га – с обработкой семян. Прибавка зерна к фону питания составила 0,42 и 0,35 т/га соответственно. Остальные препараты также оказали положительное влияние на рост урожайности зерна, где прибавки к фону составили от 0,15 до 0,32 т/га.

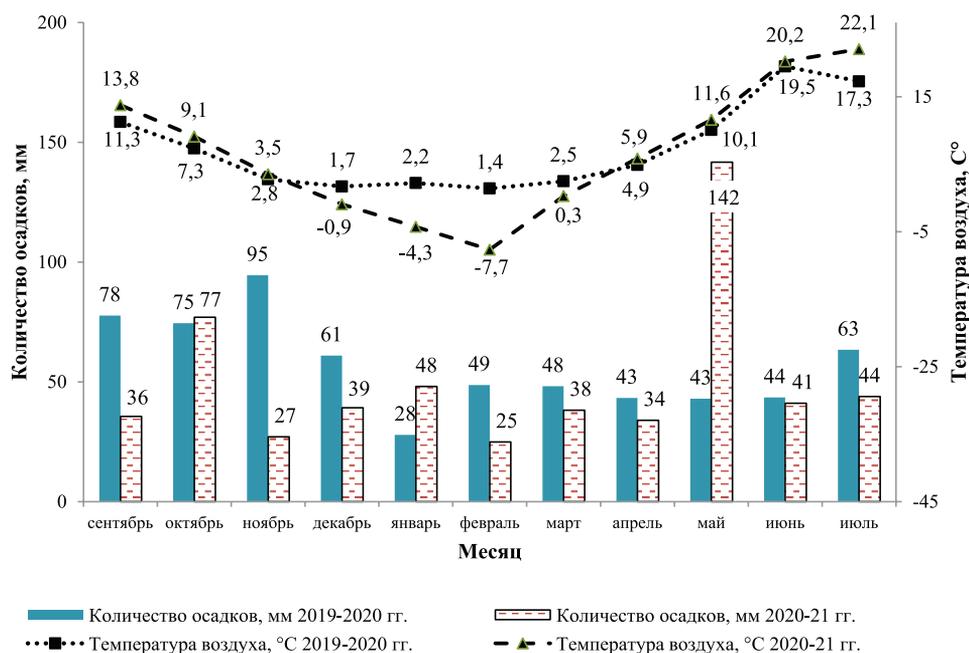


Рис. 1. Метеорологические условия периода вегетации озимой пшеницы (2019–2021 годах)
Fig. 1. Weather conditions of a vegetation period of winter wheat (2019–2021)

Таблица 1. Влияние комплексных удобрений на урожайность зерна и соломы озимой пшеницы (2020–2021 гг.)
Table 1. Effect of complex fertilizers on productivity of winter wheat grain and straw (2020–2021)

№ п/п	Варианты опыта	Урожайность, т/га								
		зерно					солома			
		без обработки семян	прибавка		с предпосевной обработкой семян	прибавка		без обработки семян	с предпосевной обработкой семян	
к контролю	к фону		к контролю	к фону						
1	Контроль (без удобрений)	1,85	–	–	2,12	–	–	0,27	2,52	2,69
2	N ₄₀ P ₅₀ K ₇₀ – фон 1	2,17	0,32	–	2,57	0,45	–	0,40	2,56	3,68
3	Фон 1 + Кодима Р	2,40	0,56	0,23	2,72	0,60	0,15	0,32	3,13	3,41
4	Фон 1 + Кодафол	2,59	0,75	0,42	2,92	0,80	0,35	0,33	3,02	3,55
5	Фон 1 + Микроэл	2,49	0,65	0,32	2,81	0,69	0,24	0,32	3,04	3,18
6	Фон 1 + Страда N	2,40	0,55	0,23	2,81	0,69	0,24	0,41	3,00	3,49
7	N ₄₀ P ₅₀ K ₇₀ + N ₂₀ – фон 2	2,57	0,72	–	2,74	0,62	–	0,17	3,59	3,58
8	Фон 2 + Кодима Р	2,59	0,75	0,02	2,89	0,77	0,15	0,30	3,59	3,54
9	Фон 2 + Кодафол	2,63	0,78	0,06	2,91	0,79	0,17	0,28	3,49	3,27
10	Фон 2 + Микроэл	2,59	0,75	0,02	2,85	0,73	0,11	0,26	3,36	3,65
11	Фон 2 + Страда N	2,72	0,87	0,15	3,08	0,96	0,34	0,36	3,02	3,38
Среднее		2,45	–	–	2,76	–	–	–	3,12	3,40
НСР ₀₅		0,22	–	–	0,19	–	–	–	0,48	0,39

На фоне дополнительного применения азотных удобрений максимальная положительная эффективность получена от внекорневой подкормки растений комплексным удобрением Страда N, где прибавка урожая зерна составила 0,96 т/га к контролю. При этом отмечена тенденция к снижению эффективности применяемых комплексных удобрений, внесенных по вегетации. Таким образом, в опыте наблюдалась отзывчивость растений озимой пшеницы на элементы питания, внесенные в виде листо-

вой подкормки в период вегетации, которые способствовали активному развитию вегетативной и корневой систем, а в итоге – получению более высокого урожая.

Подготовка семян к посеву путем обработки их препаратом Микромак имела положительный результат. Этот прием позволил дополнительно получить от 0,27 до 0,41 т/га на фоне минерального питания N₄₀P₅₀K₇₀ и от 0,17 до 0,36 т/га – на фоне N₄₀P₅₀K₇₀+N₂₀.

Весеннее внесение азота в дозе 20 д.в. способствовало улучшению условий произрастания растений в сравнении с фоном 1, при этом отмечено, что эффективность изучаемых препаратов на этом фоне несколько снижалась. В связи с этим одним из приемов повышения урожайности пшеницы при возможности уменьшения затрат на азотные удобрения может быть применение для обработки семян перед посевом препаратом Микромакс с последующим внесением по вегетации удобрений Кодафол и Страда N.

Урожайность соломы озимой пшеницы в годы исследований варьировала в пределах

от 2,52 до 3,68 т/га по вариантам опыта на фоне минерального питания $N_{40}P_{50}K_{70}$ и от 3,02 до 3,65 т/га – на фоне $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$. В урожае соотношение массы зерна и соломы составило 1 : (1,1–1,4).

Агрономическая эффективность применения удобрений, определяемая величиной прибавки урожая, представлена на рисунке 2, из которого следует, что наибольшая окупаемость 1 кг NPK прибавкой зерна озимой пшеницы обеспечивалась на вариантах с совместным использованием изучаемых препаратов для обработки семян и листовых подкормок.

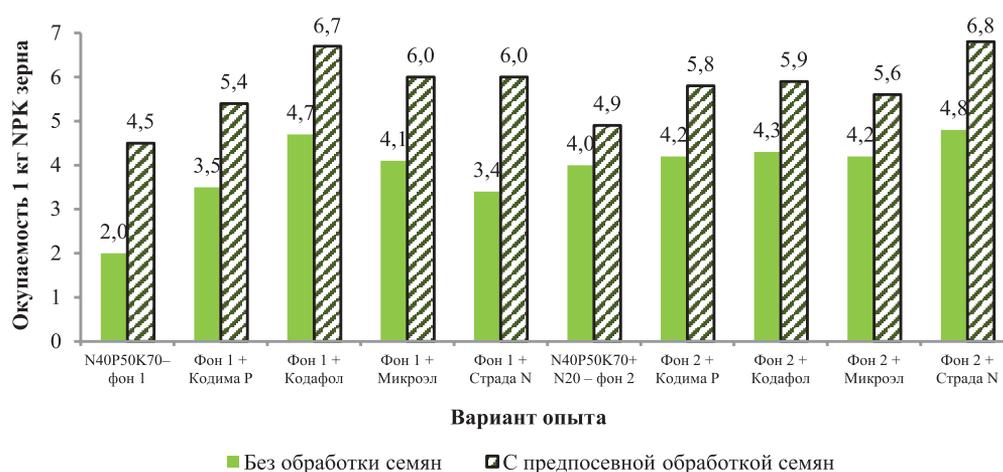


Рис. 2. Эффективность применения удобрений под озимую пшеницу (2020–2021 гг.)
Fig. 2. Efficiency of using fertilizers for winter wheat (2020–2021)

На вариантах опыта без обработки семян перед посевом при внесении минеральных удобрений и препаратов дополнительно получено от 0,32 до 0,87 т/га зерна с окупаемостью 1 кг NPK удобрений зерном от 2,0 до 4,8 кг. При комплексном применении удобрений для обработки семян и посевов озимой пшеницы окупаемость возросла до 6,0–6,8 кг. Применение препаратов Кодафол (на фоне минерального питания $N_{40}P_{50}K_{70}$) и Страда N (на фоне $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$) обеспечило максимальную окупаемость, достигая 4,7–6,7 и 4,8–6,8 кг зерна соответственно на каждый внесенный килограмм удобрений.

Качество зерна определяет его технологическую и потребительскую ценность, служит индикатором развития зернового хозяйства, которое является основой надежного обеспечения национальной продовольственной безопасности. Пшеничное зерно рассматривается как один из важных источников белка, витаминов и других питательных веществ в питании человека и сельскохозяйственных животных (Алтухов, 2022). По причине ограниченных климатических ресурсов в СЗФО озимую пшеницу возделывают главным образом на кормовые цели. Поэтому основными показателями качества зерна становятся содержание сырого протеина, сырой клетчатки, сухого вещества,

кальция, фосфора и прочего, что необходимо для живого организма.

Анализ данных содержания основных элементов в зерне озимой пшеницы свидетельствует, что количество азота и калия в зерне пшеницы урожая 2021 г. было несколько ниже, фосфора – выше значений 2020 г., что обусловлено метеоусловиями вегетационного периода.

Содержание азота в зерне озимой пшеницы в среднем за два года исследований варьировало по вариантам опыта без предпосевной обработки семян в пределах от 1,48 до 1,71 % ACB (табл. 2).

Варианты с посевом семян, обработанных препаратом Микромакс, характеризовались более выровненными в целом показателями содержанием азота. Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{40}P_{50}K_{70}$ и $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ и применение изучаемых препаратов имело положительное влияние на содержание азота в зерне.

Содержание соединений фосфора и калия было более стабильным. Концентрация фосфора в зерне пшеницы была на уровне от 0,95 до 1,05 % по вариантам опыта с необработанными семенами и от 1,03 до 1,12 % – с предпосевной обработкой семян. Содержание калия в зерне по вариантам опыта было практически равнозначным и составило 0,61–0,68 %.

Таблица 2. Содержание основных элементов минерального питания в зерне озимой пшеницы, % АСВ (2020–2021 гг.)
Table 2. Content of basic mineral nutrition elements in winter wheat grain, % DIA (2020–2021)

№ п/п	Варианты опыта	Без обработки семян			С предпосевной обработкой семян		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Контроль (без удобрений)	1,52	1,03	0,67	1,53	1,10	0,68
2	N ₄₀ P ₅₀ K ₇₀ – фон 1	1,58	1,03	0,67	1,62	1,07	0,65
3	Фон 1 + Кодима Р	1,53	0,97	0,67	1,51	1,03	0,63
4	Фон 1 + Кодафол	1,58	0,95	0,67	1,61	1,06	0,66
5	Фон 1 + Микроэл	1,48	1,01	0,65	1,63	1,07	0,65
6	Фон 1 + Страда N	1,59	1,04	0,65	1,61	1,09	0,63
7	N ₄₀ P ₅₀ K ₇₀ + N ₂₀ – фон 2	1,67	1,04	0,63	1,62	1,12	0,64
8	Фон 2 + Кодима Р	1,65	1,05	0,62	1,56	1,05	0,62
9	Фон 2 + Кодафол	1,71	1,01	0,61	1,66	1,06	0,63
10	Фон 2 + Микроэл	1,58	1,02	0,61	1,57	1,08	0,63
11	Фон 2 + Страда N	1,56	1,05	0,62	1,63	1,03	0,65
	Среднее	1,59	1,02	0,64	1,60	1,07	0,64

Примечание. НСР₀₅ N – 0,07, P – 0,08, K – 0,03.

Накопление элементов питания в соломе также зависит от особенностей возделывания сельскохозяйственной культуры и погодных условий периода вегетации. В соломе пшеницы накапливается меньше питательных веществ, чем в зерне, причем количество азота и фос-

фора заметно ниже, чем калия. Содержание азота в соломе озимой пшеницы колебалось в пределах от 0,12 до 0,16 % по вариантам опыта без обработки семян перед посевом и от 0,11 до 0,22 % – с обработанными препаратами Микромак семенами (табл. 3).

Таблица 3. Содержание основных элементов минерального питания в соломе озимой пшеницы, % АСВ (2020–2021 гг.)
Table 3. Content of main mineral nutrition elements in winter wheat straw, % DIA (2020–2021)

№ п/п	Варианты опыта	Без обработки семян			С предпосевной обработкой семян		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Контроль (без удобрений)	0,14	0,35	1,32	0,19	0,33	1,38
2	N ₄₀ P ₅₀ K ₇₀ – фон 1	0,14	0,36	1,37	0,22	0,29	1,46
3	Фон 1 + КодимаР	0,15	0,30	1,39	0,17	0,29	1,33
4	Фон 1 + Кодафол	0,14	0,32	1,30	0,17	0,31	1,36
5	Фон 1 + Микроэл	0,15	0,28	1,34	0,15	0,35	1,41
6	Фон 1 + Страда N	0,14	0,32	1,34	0,15	0,32	1,44
7	N ₄₀ P ₅₀ K ₇₀ + N ₂₀ – фон 2	0,13	0,29	1,30	0,18	0,30	1,42
8	Фон 2 + КодимаР	0,14	0,29	1,32	0,20	0,34	1,47
9	Фон 2 + Кодафол	0,12	0,31	1,38	0,11	0,31	1,48
10	Фон 2 + Микроэл	0,16	0,29	1,40	0,11	0,31	1,42
11	Фон 2 + Страда N	0,16	0,33	1,47	0,15	0,32	1,42
	Среднее	0,14	0,31	1,36	0,16	0,32	1,42

Примечание. НСР₀₅ N – 0,05, P – 0,04, K – 0,08.

Содержание фосфора в соломе варьировало по вариантам опыта от 0,28 до 0,36 %, калия – от 1,30 до 1,48 %.

Содержание сырого протеина устанавливается по содержанию азота в зерне, которое соответственно находится в зависимости от таких факторов, как сортовые особенности, плодородие почвы, погодные условия и т. д. Качество зерна по содержанию сырого протеина значительно колеблется даже в пределах одного региона. В 2020 г. в условиях засушливой погоды доля протеина в зерне пшеницы находилась на уровне от 10,1 до 11,8 %, в 2021 г. – от 7,7 до 9,6 %.

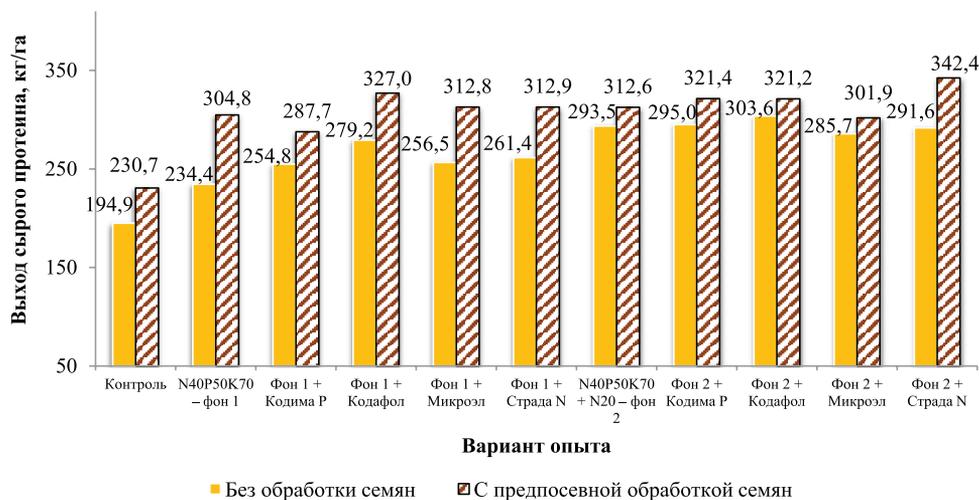
Выход сырого протеина с урожаем основной и побочной продукции озимой пшени-

цы с единицы площади в среднем за два года исследований составил от 194,9 до 312,9 кг с 1 га на фоне минерального питания N₄₀P₅₀K₇₀, от 285,7 до 342,4 кг/га – на фоне N₄₀P₅₀K₇₀+N₂₀ (рис. 3).

Наибольшие значения по выходу сырого протеина на фоне 1 получены при использовании препарата Кодафол – 279,2 и 327,0 кг/га на вариантах без обработки и с обработкой семян. Проведение подкормки азотным удобрением способствовало увеличению содержания азота в растениеводческой продукции, а, следовательно, и увеличению в ней содержания и сбора белка с единицы площади. На повышенном фоне минерального питания наибольший сбор сырого протеина получен

на вариантах опыта $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ +Кодафол – 303,6 кг/га и $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ +Страда N+Микромак – 342,4 кг/га. Эффективность комплексных удо-

брений Кодима Р и Микроэл была несколько ниже, а прибавка по сбору протеина по этим вариантам к фону питания составила до 22,2 кг/га.



Примечание. HCP_{05} кг/га – 23,7.

Рис. 3. Выход сырого протеина с растениеводческой продукцией озимой пшеницы (2020–2021 гг.)

Fig. 3. Yield of crude protein from winter wheat products (2020–2021)

Повышенный фон минерального питания обеспечил получение большего количества сырого протеина с единицы площади, при этом результативность изучаемых препаратов выше на фоне 1.

Содержание в зерне клейковины, как и общего белка, увеличивается при выращивании растений в условиях повышенных температур и недостаточной обеспеченности влагой. Улучшение условий азотного питания путем внесения удобрений или применения бобовых

в севообороте повышает содержание клейковины в пшенице.

В наших исследованиях содержание сырой клейковины в зерне озимой пшеницы в засушливых условиях 2020 г. отмечено от 10,2 до 19,2 % по вариантам опыта. В 2021 г. при большом увлажнении этот показатель составил от 12,9 до 17,9 %. По средним за два года данным доля сырой клейковины в зерне варьировала от 13,2 до 16,4 % на фоне питания $N_{40}P_{50}K_{70}$ и от 13,9 до 18,6 % – на фоне $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ (табл. 4).

Таблица 4. Содержание сырой клейковины и масса 1000 зерен озимой пшеницы (2020–2021 гг.)
Table 4. Raw gluten content and 1000-grain weight of winter wheat (2020–2021)

№ п/п	Варианты опыта	Содержание сырой клейковины в зерне, %		Масса 1000 семян, г	
		без обработки семян	с обработкой семян	без обработки семян	с обработкой семян
1	Контроль (без удобрений)	13,2	13,7	39,0	38,8
2	$N_{40}P_{50}K_{70}$ – фон 1	13,5	13,7	39,7	42,2
3	Фон 1 + Кодима Р	13,7	15,6	40,2	42,1
4	Фон 1 + Кодафол	13,6	15,5	42,1	43,0
5	Фон 1 + Микроэл	14,3	16,4	40,7	43,1
6	Фон 1 + Страда N	13,4	15,8	41,2	42,8
7	$N_{40}P_{50}K_{70} + N_{20}$ – фон 2	13,9	15,4	41,4	42,6
8	Фон 2 + Кодима Р	14,5	16,8	42,1	42,7
9	Фон 2 + Кодафол	14,1	16,1	42,4	42,9
10	Фон 2 + Микроэл	13,9	16,0	40,0	42,6
11	Фон 2 + Страда N	16,3	18,6	40,9	42,3
	Среднее	14,0	15,8	40,9	42,3
	HCP_{05}	1,9	2,6	1,2	1,0

Достоверное превышение средних значений содержания сырой клейковины отмечено на вариантах опыта $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ +Кодима Р+Микромак (16,8 %), $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ +Страда N (16,3%) и $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ +Страда N+Микромак (18,6 %).

Масса 1000 семян является одним из важнейших показателей качества зерна, который не регламентируется стандартами, но подлежит обязательному контролю. В пределах одного сорта при одинаковой агротехнике решающее влияние на вес зерна оказывают

метеорологические условия и уровень минерального питания (Бакаева и Салтыкова, 2022). В годы исследований сформировалось зерно озимой пшеницы, масса 1000 штук которого составила от 38,8 до 43,1 г на фоне питания $N_{40}P_{50}K_{70}$ и от 40,0 до 42,9 г – на $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$. Предпосевная обработка семян удобрением Микромак способствовала получению более полновесного зерна (на 0,5–2,6 г). Применение препарата Кодафол на обоих фонах минерального питания показало лучший результат по данному показателю. Увеличение массы 1000 зерен в сравнении с контролем составило от 3,1 до 4,2 г.

Выводы. Таким образом, применение минеральных удобрений, вносимых перед посевом в дозе $N_{40}P_{50}K_{70}$ и при ранневесенней подкормке N_{20} , совместно с двукратной обработкой посевов комплексными удобрениями и семян перед посевом способствовало получению прибавки урожая зерна озимой пшеницы от 0,32 до 0,96 т/га. Наиболее эффективным на фоне питания $N_{40}P_{50}K_{70}$ было использование препарата Кодафол, на фоне $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ – Страда N. Отмечен рост содержания азота в зерне озимой пшеницы от применения минеральных и комплексных удобрений при стабильном уровне доли фосфора и калия. Основная масса азота и фосфора накапливается в зерне пшеницы, а калия – в соломе. Использование комплексных препаратов по вегетирующим растениям и для обработки

семян способствовало увеличению выхода сырого протеина с единицы площади до 44,8 кг/га. На фоне минерального питания $N_{40}P_{50}K_{70}$ от применения Кодафола получено на 7–19% больше сырого протеина, на фоне $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$ – от препаратов Кодафол и Страда N на 3–10% соответственно. Дополнительное питание, получаемое растениями от комплексных удобрений на начальных этапах роста и следующих фазах развития, способствовало формированию более полноценного зерна озимой пшеницы (на 0,5–2,6 г к контролю) и увеличению в нем массовой доли сырой клейковины.

Оценка агрономической эффективности способов и приемов применения минеральных и комплексных удобрений показала, что в условиях 2020–2021 гг. наибольшая окупаемость 1 кг NPK прибавкой урожая достигнута на вариантах опыта с обработкой посевов препаратами Кодафол (на фоне минерального питания $N_{40}P_{50}K_{70}$) и Страда N (на фоне $N_{40}P_{50}K_{70}+N_{20}$): 4,7–6,7 и 4,8–6,8 кг зерна соответственно. Предпосевная обработка семян препаратом Микромак способствовала наибольшей реализации потенциала продуктивности озимой пшеницы на зерно и окупаемости затраченных средств.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2019-0010).

Библиографические ссылки

1. Алтухов А.И. Основные мировые тенденции в обеспечении продовольственной безопасности // Вестник Национального института бизнеса. 2022. № 1(45). С. 9–19.
2. Бакаева Н.П., Салтыкова О.Л. О связи продуктивности, белковости и активности протеолитических ферментов зерна озимой пшеницы // Агрофизика. 2022. № 3. С. 52–59. DOI: 10.25695/AGRPH.2022.03.07
3. Гуреев И.И., Гостев А.В., Нитченко Л.Б. Экономико-экологическая эффективность адаптивной системы удобрения ярового ячменя // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16, № 3(60). С. 95–101. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Митрохина О.А. Оценка взаимосвязи урожаев основных сельскохозяйственных культур с содержанием микроэлементов в почвах ЦЧР // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. №1 (61). С. 60–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-60-64
6. Cakmak I., Yazici A., Tutus Y., Ozturk L., Prom-u-thai C., Phuphong P., Guilherme L.R.G., Dinali G.S., Rashid A., Hora K.H., Savasli E., Kalayci M., Rizwan M., Martins F.A.D. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy // Plant and Soil. 2017. Vol. 418, № 1–2. P. 319–335. DOI: 10.1007/s11104-017-3295-9
7. Khaibullin M., Tusmatov E., Satvalova N., Valitov A., Nurullin E. Spring wheat yield depending on the variety and chelated fertilizers // Asian journal of plant sciences. 2022. Vol. 21, № 3. P. 432–439. DOI: 10.3923/ajps.2022.432.439
8. Meena R.H., Jat G., Jain D. Impact of foliar application of different nano-fertilizers on soil microbial properties and yield of wheat // Journal of environmental biology. 2021. Vol. 42, № 2. P. 302–308. DOI: 10.22438/JEB/42/2/MRN-1465

References

1. Altukhov A.I. Osnovnye mirovye tendentsii v obespechenii prodovol'stvennoi bezopasnosti [Main global trends in food security enforcement] // Vestnik Natsional'nogo instituta biznesa. 2022. № 1(45). S. 9–19.
2. Bakaeva N.P., Saltykova O.L. O svyazi produktivnosti, belkovosti i aktivnosti proteoliticheskikh fermentov zerna ozimoi pshenitsy [On the relationship between productivity, protein content and activity of proteolytic enzymes of winter wheat grain] // Agrofizika. 2022. № 3. S. 52–59. DOI: 10.25695/AGRPH.2022.03.07
3. Gureev I.I., Gostev A.V., Nitchenko L.B. Ekonomiko-ekologicheskaya effektivnost' adaptivnoi sistemy udobreniya yarovogo yachmenya [Economic and environmental efficiency of the adaptive

- fertilization system for spring barley] //Yug Rossii: ekologiya, razvitie. 2021. T. 16, № 3(60). S. 95–101. DOI: 10.18470/1992-1098-2021-3-95-101
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. Mitrokhina, O.A. Otsenka vzaimosvyazi urozhayev osnovnykh sel'skokhozyaystvennykh kul'tur s soderzhaniey mikroelementov v pochvakh TsChR [Estimation of the relationship between the yields of main agricultural crops and the content of microelements in the soils of the Central Blackearth Region] // Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaystvennoi akademii. 2023. № 1 (61). S. 60–64. DOI: 10.18286/1816-4501-2023-1-60-64
6. Cakmak I., Yazici A., Tutus Y., Ozturk L., Prom-u-thai C., Phuphong P., Guilherme L.R.G., Dinali G.S., Rashid A., Hora K.H., Savasli E., Kalayci M., Rizwan M., Martins F.A.D. Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy // Plant and Soil. 2017. Vol. 418, № 1–2. P. 319–335. DOI: 10.1007/s11104-017-3295-9
7. Khaibullin M., Tusmatov E., Satvalova N., Valitov A., Nurullin E. Spring wheat yield depending on the variety and chelated fertilizers // Asian journal of plant sciences. 2022. Vol. 21, № 3. P. 432–439. DOI: 10.3923/ajps.2022.432.439
8. Meena R.H., Jat G., Jain D. Impact of foliar application of different nano-fertilizers on soil microbial properties and yield of wheat // Journal of environmental biology. 2021. Vol. 42, № 2. P. 302–308. DOI: 10.22438/JEB/42/2/MRN-1465

Поступила: 30.06.23; доработана после рецензирования: 14.08.23; принята к публикации: 28.09.23.

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. Шайкова Т.В. – концептуализация исследования; Шайкова Т.В., Дятлова М.В. – подготовка опыта; Волкова Е.С. – выполнение лабораторных опытов и сбор данных; Дятлова М.В., Шайкова Т.В. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ ОСУШЕНИЯ, УДОБРЕНИЙ И АГРОМЕЛИОРАТИВНЫХ ПРИЕМОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Ю. И. Митрофанов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом мелиоративного земледелия, m1trof4@eandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0994-6743;

Л. В. Пугачева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела мелиоративного земледелия, 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-6231-9488;

М. В. Гуляев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела мелиоративного земледелия, 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-5916-7778;

Н. К. Первушина, научный сотрудник отдела мелиоративного земледелия, 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-0618-4405

ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,
119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 2

Исследования проводили в 2011–2022 гг. на агрополигоне Губино Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (Тверская область). Цель исследований – изучить эффективность дренирования переувлажняемых почв, удобрений и агромелиоративных приемов при выращивании яровой пшеницы в условиях Северо-Западной части Нечерноземной зоны. Почвы агрополигона дерново-подзолистые легкосуглинистые и супесчаные глееватые, осушаемые закрытым дренажем. Исследованиями в полевых опытах установлено влияние дренирования глееватых почв, применения удобрений, объемного щелевания почвы на глубину 45–50 см, гребнистой вспашки и гребнистого ленточно-разбросного способа посева на урожайность яровой пшеницы. Осушение увеличило урожайность пшеницы на экстенсивном фоне на 17,8 % (0,34 т/га), на среднеинтенсивном и интенсивном – на 16,9–19,4 % (0,56–0,60 т/га). Более значительно повышали урожайность минеральные удобрения – на осушаемом фоне прибавка урожая пшеницы при средних нормах ($N_{45}P_{15}K_{45}$) внесения удобрений составила 1,20 т/га (53,3 %) и при высоких ($N_{90}P_{30}K_{90}$) – 1,91 т/га (84,9 %). Совместное действие дренажа и удобрений увеличило урожайность яровой пшеницы на переувлажняемой почве в 2,2 раза (на 2,25 т/га). Наиболее высокая оплата 1 кг д.в. удобрений урожаем яровой пшеницы получена на осушаемом участке при средних нормах внесения удобрений – 9,8 кг зерна. Высокий эффект был получен от агромелиоративных приемов, направленных на улучшение водно-воздушного режима почв. При объемном щелевании почвы урожайность яровой пшеницы увеличилась на 0,50–0,97 т/га (на 13,2–26,4 %), при гребнистой вспашке – на 0,36 т/га (12,0 %), при гребнистом ленточно-разбросном способе посева с выращиванием яровой пшеницы на гребнях высотой 40–80 мм – на 0,45 т/га или 13,7 %, по отношению к существующей технологии рядового посева. Результаты исследований могут быть использованы при разработке адаптивных агротехнологий возделывания яровой пшеницы на осушаемых землях.

Ключевые слова: яровая пшеница, осушение, удобрения, объемное щелевание, гребнистая вспашка, способы посева, урожайность.

Для цитирования: Митрофанов Ю. И., Пугачева Л. В., Гуляев М. В., Первушина Н. К. Влияние осушения, удобрений и агромелиоративных приемов на урожайность яровой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 82–89. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-82-89.



THE EFFECT OF DRAINAGE, FERTILIZERS AND AGRO-RECLAMATION TECHNIQUES ON SPRING WHEAT PRODUCTIVITY

Yu. I. Mitrofanov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the department of reclamation agriculture, m1trof4@eandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0994-6743;

L. V. Pugacheva, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of reclamation agriculture, 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-6231-9488;

M. V. Gulyaev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of reclamation agriculture, 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID ID: 0000-0001-5916-7778;

N. K. Pervushina, researcher of the department of reclamation agriculture, 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID ID: 0000-0003-0618-4405

FRC “V. V. Dokuchaev Soil Science Institute”,
119017, Moscow, Pyzhevsky Lane, 7, building 2

The current study was conducted at the agricultural site ‘Gubino’ of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (Tver Region) in 2011–2022. The purpose was to study the efficiency of drainage of waterlogged soils, fertilizers and agro-reclamation techniques when growing spring wheat in the conditions of the North-Western part of the Non-Blackearth region. The soil of the agricultural site was soddy-podzolic, light loamy and gleyic sandy loam, drained by closed drainage. The field trials have established the influence of drainage of gleyic soils, the use of fertilizers, volumetric slotting of the soil to a depth of 45–50 cm, ridge plowing and ridge belt-scattering method of sowing on spring wheat productivity. Drainage increased wheat productivity on the extensive background by 17.8 %

(0.34 t/ha), on the medium-intensive and intensive background by 16.9–19.4 % (0.56–0.60 t/ha). Mineral fertilizers improved productivity more significantly, against a drained background, wheat productivity increase at medium fertilizer rates ($N_{45}P_{15}K_{45}$) was 1.20 t/ha (53.3 %) and at high fertilizer rates ($N_{90}P_{30}K_{90}$) it was 1.91 t/ha (84.9 %). The combined effect of drainage and fertilizers improved spring wheat productivity on waterlogged soil by 2.2 times (by 2.25 t/ha). The highest payback of 1 kg of fertilizers by a spring wheat yield was obtained on a drained plot with average fertilizer application rates of 9.8 kg of grain. A high effect was obtained from agro-reclamation techniques aimed at improving the water-air regime of soil. With volumetric slotting of the soil, spring wheat productivity raised by 0.50–0.97 t/ha (13.2–26.4 %), with ridge plowing by 0.36 t/ha (12.0 %), with ridge belt-scattering method of sowing with growing spring wheat on ridges 40–80 mm high by 0.45 t/ha or 13.7 %, in relation to the existing technology of row sowing. The study results can be used in the development of adaptive agricultural technologies for cultivating spring wheat on drained lands.

Keywords: *spring wheat, drainage, fertilizers, volumetric slotting, ridge plowing, sowing methods, productivity.*

Введение. Современные технологии возделывания зерновых культур с применением высокопродуктивных сортов, лучших предшественников, сбалансированного питания растений, эффективных приемов обработки почвы, интегрированной системы защиты растений от болезней, вредителей и сорняков позволяют в условиях Нечерноземной зоны получать с 1 га до 4,0–6,0 и более тонн зерна (Kiryushin, 2020; Новоселов и др., 2019; Blanco-Canqui and Ruis, 2018). На временно переувлажняемых дерново-подзолистых глееватых почвах, распространенных в этом регионе, такие урожаи становятся возможными после их мелиоративного обустройства, осушения, комплексного окультуривания и освоения систем интенсивного земледелия (Дьяченко и др., 2018; Kiryushin, 2019; Castellini et al., 2019). Важную роль в оптимизации водно-воздушного режима осушаемых почв играют агромелиоративные приемы обработки почвы, являющиеся неотъемлемой частью проектов мелиорации и важнейшим дополнением к инженерным водорегулирующим системам (Kuhling et al., 2017; Skaalsveen et al., 2019; Kiryushin, 2019). Дренажирование почв и удаление с полей избыточной влаги позволяет оптимизировать сроки проведения полевых работ, полнее использовать потенциальные возможности вегетационного периода, достаточно ограниченного в Нечерноземной зоне, повысить качество выполняемых полевых работ, создает реальную возможность для интенсификации земледелия, совершенствования структуры посевов, расширения набора культур и увеличения посевной площади под более продуктивными и ценными в рыночном отношении культурами, для освоения интенсивных технологий возделывания зерновых культур, в частности яровой пшеницы.

Цель наших исследований – изучить эффективность дренажирования переувлажняемых почв, удобрений и агромелиоративных приемов при выращивании яровой пшеницы в условиях Северо-Западной части Нечерноземной зоны.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2011–2022 гг. на агрополигоне Губино ВНИИМЗ (Тверская область). Почвы опытного участка дерново-подзолистые легкосуглинистые и супесчаные глееватые, осушаемые закрытым дренажем, слабокислые, содержание гумуса 2,32–2,70 %, подвижного фосфора – высокое, обменно-

го калия – повышенное. Коэффициент фильтрации почвы с поверхности и горизонта A_2B составляет 0,07–0,34, опесчаненной морены – 0,34–0,48 м/сутки. Опыт с удобрениями проводили на трех технологических уровнях (фактор В): 1 – без удобрений (экстенсивная технология), 2 – $N_{45}P_{15}K_{45}$ (среднеинтенсивная – нормальная), 3 – $N_{90}P_{30}K_{90}$ (интенсивная), на осушаемом и переувлажняемом (не дренажированном) участках (фактор А). Осушение проведено закрытым дренажем (междреннее расстояние 20–30 м, глубина заложения дрен 0,9–1,2 м) в 1984 году. В этот год была построена осушительная система, которая работает по настоящее время. Яровая пшеница размещалась после картофеля в плодосменном севообороте с чередованием культур: клеверный пар – озимая рожь (озимая тритикале) – картофель – яровая пшеница с подсевом клевера. Минеральные удобрения по вариантам опыта вносили согласно схеме в виде азофоски, аммиачной селитры и хлористого калия.

Из агромелиоративных и технологических приемов возделывания яровой пшеницы изучались объемное щелевание почвы, гребнистая вспашка и гребнистый ленточно-разбросной способ посева. Технология объемного щелевания почвы предусматривает формирование широких щелей (16 см) на глубину 45–50 см с заполнением подпахотной части (20–50 см) измельченной соломой, растительными остатками в смеси с гумусовым слоем. По отношению к дренажу щелевание проводили двумя способами – поперек и вдоль расположения дрен с выходом на коллекторные линии.

Выращивали районированные сорта яровой пшеницы Иргина (2011–2019 гг.) и Злата (2020–2022 гг.). Норма высева семян – 6,0 млн/га всхожих зерен. Повторность опытов 3–4-кратная. Общая площадь делянок 100–430 м², учетная – 40–50 м². Исследования, анализы и наблюдения проводили по общепринятым в земледелии методикам (Доспехов, 2014). Метеоусловия в годы исследований были разными – от благоприятных до неблагоприятных прежде всего по условиям увлажнения. Согласно ГТК Селянинова 2011, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 и 2022 гг. относятся к влажным (ГТК – 1,24–1,79), 2012 и 2020 гг. – к избыточно влажным (ГТК – 2,10–2,22), 2013, 2014 и 2021 гг. – к засушливым (ГТК – 0,91–0,99).

Результаты и их обсуждение. Действие дренажа на водный и водно-воздушный ре-

жим проявилось на величине уровня грунтовых вод, режиме влажности и уровне аэрации почвы. Средне вегетационная влажность почвы (в % от НВ) на переувлажняемом недренированном участке на варианте с яровой пшеницей по годам колебалась в пределах от 51 до 109 % (среднее за 10 лет – 82,7 %), на осушаемом – от 36 до 98 % (62,6 %), пористость аэрации изменялась от 10,8 до 40,0 % (среднее за 10 лет – 23,4 %) и от 19,2 до 40,0 % (30,4 %) относительно разных опытных участков. Осушение оказало влияние и на питательный режим почвы. Суммарное количество нитратного и аммиачного азота под влиянием осушения на варианте без удобрений увеличивалось на 8,1 % (с 9,9 до 10,7 мг/кг почвы), на среднем фоне удобрений – на 20,8 % (с 19,7 до 23,4 мг) и на высоком – на 40,1 % (с 34,9 до 48,9 мг/кг).

Более значительное влияние на азотное питание растений оказывали удобрения. Содержание минерального азота в осушаемой почве при средних нормах увеличивалось с 10,7 до 23,8 мг/кг почвы (в 2,2 раза), при высоких – до 48,9 мг, или в 4,6 раза.

Исследования показали, что яровая пшеница хорошо отзывается на приемы улучшения

водно-воздушного и питательного режимов почвы. Известно, что применение удобрений является основным фактором, определяющим формирование высокопродуктивных посевов полевых культур в Нечерноземной зоне, в том числе на переувлажняемых почвах (Sithole et al., 2019; Иванчик и Афанасьев, 2020). Без осушения урожайность яровой пшеницы на дерново-подзолистой глееватой легкосуглинистой почве в среднем за 10 лет без удобрений составила 1,91 т/га, на фоне средних норм удобрений – 2,89 и высоких – 3,56 т/га.

Прибавки урожая от удобрений на неосушаемом участке составили соответственно фоновым 0,98 т/га (51,3 %) и 1,65 т/га (86,4 %). Под влиянием только осушения (дренажа) и улучшения водно-воздушного состояния почвы урожайность яровой пшеницы в среднем за 10 лет повысилась на 0,34 т/га (на 17,8 %) и составила 2,25 т/га зерна. С удобрениями прибавки урожая зерна от осушения увеличились в 1,6–1,8 раза и при средних нормах они составили 0,56 т/га (19,4 %), при высоких – 0,60 т/га (16,9 %) (табл. 1).

Таблица 1. Влияние удобрений и дренажа на урожайность (т/га) яровой пшеницы (среднее за 2012–2021 гг.)
Table 1. The effect of fertilizers and drainage on spring wheat productivity, t/ha (mean in 2012–2021)

Вариант удобрений	Почва		Прибавки урожая от осушения		
	неосушаемая – контроль	осушаемая	±, т/га	%	
Без удобрений (контроль)	1,91	2,25	+0,34	17,8	
Средние нормы – N ₄₅ P ₁₅ K ₄₅	2,89	3,45	+0,56	19,4	
Высокие нормы – N ₉₀ P ₃₀ K ₉₀	3,56	4,16	+0,60	16,9	
В среднем	2,79	3,29	+0,50	17,9	
Прибавки урожая от удобрений, т/га (%)	N ₄₅ P ₁₅ K ₄₅	0,98 (51,3)	1,20 (53,3)	x	x
	N ₉₀ P ₃₀ K ₉₀	1,65 (86,4)	1,91 (84,9)	x	x

Примечание. НСР₀₅ для фактора А (дренаж) – 0,24; НСР₀₅ для фактора В (удобрения) – 0,28.

на осушаемом участке эффективность удобрений повышалась, при средних нормах их внесения прибавка урожая яровой пшеницы составила 1,20 т/га, при высоких – 1,91 т/га. По сравнению с неосушаемым фоном прибавка урожая от одной и той же дозы удобрений на осушаемом участке была больше на 22,4 % при средних нормах и на 15,7 % – при высоких.

Установлено, что осушение повышает эффективность удобрений, а удобрения – эффективность дренажа. Наиболее значительные прибавки урожая яровой пшеницы были получены при совместном их действии, урожайность по сравнению с абсолютным контролем (без осушения и удобрений) в среднем за 10 лет увеличилась на 2,25 т/га зерна, или в 2,2 раза. Данные этого опыта показывают, что минеральные удобрения являются основным фактором интенсификации земледелия на осушаемых почвах, их применение повышает урожайность яровой пшеницы на 53,3–84,9 %.

Под влиянием дренажа коэффициент использования элементов питания минераль-

ных удобрений увеличивался на 14,5–22,4 %. При нормальной технологии выращивания яровой пшеницы долевое участие минеральных удобрений в суммарном приросте урожая было 77,9 %, дренажа – 22,1 %, при интенсивной технологии участие удобрений повышается до 84,9 %, а дренажа снижается до 15,1 %.

При оценке эффективности действия удобрений и дренажа важно учитывать, что характер их влияния на урожайность культур и на уровень получаемых прибавок урожая в отдельные годы во многом определяется погодными условиями вегетационных периодов конкретных лет. Наиболее значительная прибавка урожая яровой пшеницы от осушения (на варианте с высокими нормами удобрений) была получена в годы с избыточно влажными условиями в период вегетации – 1,11 т зерна с 1 га. Во влажные годы прибавка урожая была в 2,4 раза меньше – 0,47 т/га. Следует отметить, что в годы с засушливыми периодами вегетации урожайность яровой пшеницы на варианте с осушением из-за дефицита влаги была

даже несколько ниже, чем в варианте без осушения.

Отдача от удобрений наиболее высокой была в годы с влажными периодами вегетации и при средних нормах внесения – прибавка урожая в эти годы составила 1,50 т/га (65,8 %), при высоких – урожайность увеличи-

валась по сравнению с контролем на 2,36 т/га (в 2 раза).

В избыточно влажные и засушливые годы прибавки урожая по фонам удобрений были существенно меньше – 0,98 и 1,91 т/га (43,7 и 85,3 %); 0,90 и 1,26 т/га (46,6 и 65,3 %) соответственно (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от вариантов удобрений и погодных условий, осушаемый участок, т/га
Table 2. Spring wheat productivity depending on fertilizers and weather conditions, drained area, t/ha

Вариант удобрений	Годы исследований			В среднем за 2011–2022 гг.
	избыточно-влажные	влажные	засушливые	
Без удобрений (контроль)	2,24	2,28	1,93	2,27
Средние нормы – N ₄₅ P ₁₅ K ₄₅	3,22	3,78	2,83	3,60
Высокие нормы – N ₉₀ P ₃₀ K ₉₀	4,15	4,64	3,19	4,35
Прибавки урожая, т/га, (%)	N ₄₅ P ₁₅ K ₄₅	0,98 (43,7)	1,50 (65,8)	1,33 (58,6)
	N ₉₀ P ₃₀ K ₉₀	1,91 (85,3)	2,36 (в 2 раза)	2,08 (91,6)

Примечание. НСР₀₅ для любых средних – 0,27.

По результатам опыта была рассчитана окупаемость удобрений прибавкой урожая зерна. Наиболее высокая окупаемость 1 кг д.в. удобрений урожаем зерна яровой пшеницы была получена при средних нормах их внесения, на осушаемом участке в среднем за 12 лет она составила 9,8 кг, на неосушаемом в среднем за 10 лет – 7,2 кг, или на 26,5 % меньше. При высоких нормах удобрений их окупаемость среднемноголетней прибавкой урожая зерна снижалась до 7,7 кг на осушаемом участке и до 6,1 кг – на неосушаемом. По сравнению со средними нормами окупаемость удобрений при высоких нормах их внесения на осушаемом участке снизилась на 21,5 %, на неосушаемом – на 15,3 %. Окупаемость удобрений существенно зависела от погодных условий: наиболее высокой она была во влажные годы, наиболее низкой – в засушливые на осушаемом участке. При средних нормах внесения удобрений во влажные годы на осушаемом участке их окупаемость составила 11,1 кг зерна на 1 кг д.в., при высоких – 8,1 кг.

В годы с избыточным количеством осадков окупаемость удобрений на осушаемом участке по сравнению с влажными годами при средней норме была ниже на 24,2 %, при высокой – на 5,0 %; в засушливые годы снижение окупаемости по фонам удобрений составило 40,5 и 43,2 %. На переувлажняемом участке окупаемость удобрений по сравнению с осушаемым участком была в целом ниже, за исключением засушливых лет.

Изучаемые факторы, и осушение, и удобрения, оказывали большое влияние на структуру агроценозов, динамику накопления биомассы растений, засоренность и активность фотосинтетической деятельности посевов и т.д. Установлено, что все элементы структуры урожая на обоих участках изменялись в лучшую сторону – увеличивалось количество продуктивных стеблей на единице площади, число зерен в колосе и масса 1000 зерен. На качест-

во зерна основное влияние оказали удобрения. В среднем за 10 лет содержание протеина под их влиянием на осушаемом участке увеличивалось на 2,7 и 4,7 абсолютных процента (по вариантам опыта), на переувлажняемом – на 2,1 и 3,5 % соответственно.

Осушение существенного влияния на содержание в зерне сырого протеина не оказало. Выход протеина с 1 га на осушаемом участке за счет более высокой урожайности по сравнению с неосушаемым на среднем фоне удобрений увеличился с 0,48 до 0,62 т/га, или на 29,2 %, на высоком фоне удобрений – с 0,64 до 0,78 т/га, или на 21,9 %. Выход протеина с 1 га под влиянием осушения и удобрений вырос в 1,9 и 2,4 раза.

Дренирование переувлажняемых земель является важным условием повышения технологической и биологической устойчивости земледелия. На переувлажняемом участке (без осушения и удобрений) коэффициент временной вариабельности урожайности в среднем за 10 лет составил 38,9 %, то есть изменчивость по годам является значительной. Под влиянием осушения коэффициент вариабельности урожайности у яровой пшеницы при выращивании без удобрений снизился с 38,9 до 24,8 % (на 36,3 %), на фоне удобрений (в среднем) – с 34,5 до 28,4 % (на 17,7 %). Изменения вариабельности урожайности под влиянием удобрений были неоднозначными. На осушаемом фоне она повысилась (с 24,8 до 28,4 %), на неосушаемом фоне несколько понизилась (с 38,8 до 34,5 %). Наиболее тесно урожайность яровой пшеницы коррелировала с погодными условиями мая. При интенсивной технологии коэффициент корреляции ее урожайности с погодными условиями (по ГТК) в мае составил 0,60. Связь урожайности с ГТК в мае–июне была существенно меньше – коэффициент корреляции 0,43 и с ГТК в июле – 0,28. В годы проведения исследований ГТК в мае колебался от 0,22 до 3,90, суммарно

за май–июнь – от 0,76 до 3,44 и в июле – от 0,87 до 3,08.

Сохраняющийся после осушения значительный уровень вариабельности урожайности яровой пшеницы формируется под влиянием разнообразия погодных и почвенно-мелиоративных условий. В отдельные годы и периоды вегетации погодными факторами, определяющими уровень продуктивности, были как избыточное увлажнение и нарушение воздушного режима в корнеобитаемом слое, так и дефицит продуктивной влаги.

Наиболее важными приемами повышения устойчивости земледелия и адаптации агротехнологий к почвенным и погодным условиям являются размещение культур в агроэкологически обоснованных севооборотах, применение агрометеорологических технологий и приемов обработки почвы, действие которых направлено на усиление осушающего действия дренажа, улучшение воздушного и температурного ре-

жимов почвы, влагообеспеченности растений в засушливые периоды, агрохимических и агрофизических показателей почвенного плодородия и т.д. (Пономарев и др., 2022; Дьяченко и др., 2018). К таким приемам относятся объемное щелевание почвы, гребневание в системе зяблевой обработки почвы и ленточно-разбросной способ посева ее на профилированной поверхности (Митрофанов и др., 2022; Башняк и Башняк, 2018; Митрофанов и Анциферова, 2020).

На яровой пшенице действие щелевания наблюдалось в течение первых четырех лет после его проведения, эффективными оказались оба способа щелевания – как поперек, так и вдоль расположения дренажных линий. В первый год действия прибавка урожая по способам щелевания составила 13,9–21,4 % к контролю, во второй – 15,5, в третий – 25,0–26,4, в четвертый – 17,7 % (табл. 3).

Таблица 3. Влияние объемного щелевания на урожайность яровой пшеницы т/га, (2015–2018 гг.)
Table 3. The effect of volumetric slotting on spring wheat productivity, t/ha (2015–2018)

Год действия щелевания	Способ щелевания	Вариант обработки		Прибавка к контролю	
		контроль	щелевание	±	%
1-й (2015)	вдоль	3,75	4,27	+0,52	113,9
	поперек	3,51	4,26	+0,75	121,4
2-й (2016)	вдоль	4,33	5,00	+0,67	115,5
3-й (2017)	вдоль	3,88	4,85	+0,97	125,0
	поперек	3,29	4,16	+0,87	126,4
4-й (2018)	вдоль	2,81	3,31	+0,50	117,7
Среднее за 4 года		3,70	4,39	+0,69	118,6

Примечание. Контроль – основная обработка – вспашка на 20–22 см; 1-й год действия – щелевание на 45–50 см + дискование на 10–12 см; 2–4-й годы – вспашка на 20–22 см по фону щелевания. НСР₀₅ для любых средних 0,28.

Наиболее высокие прибавки урожая получены в избыточно влажном 2017 г. при обоих способах щелевания (ГТК Селянинова в мае – 3,90 и в мае–июне – 3,44) и в 2015 г. – при щелевании поперек дренажа (ГТК в мае 2,42).

Анализ структуры урожая показал, что увеличение урожайности у яровой пшеницы при щелевании почвы сформировалось за счет всех основных элементов продуктивности – количество продуктивных стеблей под влиянием щелевания (в среднем по годам) и способов щелевания увеличилось на 14,9 %, число зерен в колосе – на 7,3 %, масса 1000 зерен – на 5,1 %, масса зерна в колосе – на 12,7 %.

При этом доля участия элементов структуры урожая в формировании урожайности на вариантах с щелеванием почвы составила: число продуктивных стеблей – 56,8 %, количество зерен – 29,8 %, масса 1000 зерен – 13,4 %.

Под влиянием гребнистой вспашки урожайность яровой пшеницы в среднем за 3 года по сравнению с обычной увеличилась на 0,40 т/га, или 14,4% (табл. 4). Более высокие относительные прибавки урожая были получены в годы с избыточно влажными условиями в первой половине вегетации яровой пшеницы (май и июнь).

Таблица 4. Влияние гребнистой вспашки на относительные прибавки урожая яровой пшеницы, т/га
Table 4. The effect of ridge plowing on a relative spring wheat productivity increase, t/ha

ГТК (май–июнь)	Год	Вспашка на 20–22 см – контроль	Гребнистая вспашка на 20–22 см	Прибавка к контролю	
				±	%
2,14	2012	1,53	2,10	–	–
2,56	2020	2,63	2,90	–	–
1,08	2016	4,15	4,51	+0,36	108,7
Среднее за 3 года		2,77	3,17	+0,40	114,4

Примечание. НСР₀₅ для любых средних 0,29.

Важную функцию в технологической и биологической адаптации технологии возделывания яровой пшеницы к агроэкологическим условиям осушаемых земель может выполнять гребнистый ленточно-разбросной способ посева. Технологическая схема этого способа посева предусматривает рассев семян на выровненную поверхность, вдавливание их катками в почву и закрытие загорточами путем нагребания почвы на ленту с формированием гребней высотой 40–80 мм (Митрофанов и Анциферова, 2020). По сравнению с обычным рядовым гребнистый ленточно-разбросной способ посева обладает более высокой технологичностью и адаптивностью к погодным и почвенно-мелиоративным условиям осушаемых земель,

обеспечивает более высокую устойчивость посевов к неблагоприятным агроэкологическим факторам, дополнительную защиту растений от негативных последствий, связанных с повышенным увлажнением почвы. Установлено, что применение в условиях Северо-Западной части Нечерноземной зоны гребнистого ленточно-разбросного способа посева повышает полевую всхожесть семян, выживаемость, сохранность, фотосинтетическую активность растений и урожайность зерновых культур. Урожайность зерна яровой пшеницы при гребнистом ленточно-разбросном способе посева в среднем за 4 года с разных опытных участков повышалась на 0,45 т/га, или 13,7 % (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность яровой пшеницы при разных способах посева, т/га
Table 5. Spring wheat productivity under different sowing methods, t/ha

Способ посева		2019–2021 гг.	2020 г.	2022 г.	Среднее
Рядовой – контроль		2,97	2,63	4,25	3,28
Гребнистый ленточно-разбросной		3,45	2,90	4,85	3,73
Прибавка к контролю	±	+0,48	+0,32	+0,60	+0,45
	%	116,2	111,0	114,1	113,7

Примечание. 2019–2021 гг. – опыт с совместными посевами с озимой рожью – среднее по 3 закладкам, норма высева 6,0+4,0 млн всхожих зерен на 1 га; 2020 г. – опыт со способами обработки почвы; 2022 г. – опыт с прикатыванием гребней. НСП05 для любых средних 0,31.

В структурном отношении увеличение урожая произошло в основном за счет большего количества продуктивных стеблей на единице площади при практически равной продуктивности колоса.

Выводы

1. Осушение и применение минеральных удобрений являются основными приемами, направленными на оптимизацию водно-воздушного и питательного режимов почвы, создание высокопродуктивных агроценозов яровой пшеницы на переувлажняемых землях.

2. Под влиянием дренажа урожайность яровой пшеницы повышалась на 16,9–19,4 %, коэффициент использования элементов питания минеральных удобрений – на 14,5–22,4 %. Применение минеральных удобрений увеличивало урожайность яровой пшеницы на 53,3–84,9 %. При совместном действии дренажа и удобрений урожайность яровой пшеницы увеличилась на 2,25 т/га (в 2,2 раза). Долевое участие минеральных удобрений в суммарном

приросте урожая составило 77,9–84,9 %, дренажа – 15,1–22,1 %. Наиболее высокая оплата 1 кг д.в. урожаем яровой пшеницы 9,8 кг зерна получена на осушаемом участке при средних нормах внесения удобрений.

3. Установлена высокая эффективность объемного щелевания осушаемых почв на глубину 45–50 см, гребнистой вспашки и гребнистого ленточно-разбросного способа посева яровой пшеницы. При щелевании почвы урожайность яровой пшеницы повышалась на 0,50–0,97 т/га (на 13,2–26,4 %), при гребнистой вспашке – на 0,36 т/га (12,0 %), при выращивании на гребнях высотой 40–80 мм – на 0,45 т/га, или 13,7 %.

4. Включение агромелиоративных технологий и приемов обработки, направленных на улучшение агрофизического состояния почвы, в технологические регистры возделывания яровой пшеницы следует рассматривать в качестве важного элемента их адаптации к агроэкологическим условиям осушаемых земель.

Библиографические ссылки

1. Башняк И.М., Башняк С.Е. Исследование технологии предполивного щелевания почвы и обоснование конструкции щелевателя // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2018. № 2–3(28). С. 62–69.
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. Дьяченко Е.Н., Разина А.А., Шевелев А.Т., Дятлова О.Г. Технология комплексного применения удобрений, химических и биологических мелиорантов, средств защиты растений в плодосменном севообороте // Земледелие. 2018. № 3. С. 28–31. DOI: 10.24411/0044-3913-201810306
4. Иванчик В.А., Афанасьев Р.А. Продуктивность яровой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья под влиянием минеральных удобрений // Плодородие. 2020. № 2. С. 20–23. DOI: 10.26680/S19948603.2020.113.06
5. Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., Пугачева Л.В., Первушина Н.К. Новый способ щелевания осушаемых почв // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 5. С. 541–545. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_5_541

6. Митрофанов Ю.И., Анциферова О.Н. Гребнистый способ посева зерновых культур на осушаемых землях // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. Т. 21, № 3. С. 301–312. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.301-312
7. Новоселов С.И., Кузьминых А.Н., Еремеев Р.В. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки и севооборота // *Плодородие*. 2019. № 6 (111). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.06
8. Пономарев А.В., Кремнева О.Ю., Гасиян К.Э., Данилов Р.Ю. Влияние способов обработки почвы на развитие болезней пшеницы // *Юг России: экология, развитие*. 2022. Т. 17, № 4(65). С. 174–181. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-174-181
9. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. No-tillage and soil physical environment // *Geoderma*. 2018. Vol. 326. P. 164–200. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.011
10. Castellini M., Fornaro F., Garofalo P., Giglio L., Rinaldi M., Ventrella D., Vitti C., Vonella A. V. Effects of no-tillage and conventional tillage on physical and hydraulic properties of fine textured soils under winter wheat // *Water*. 2019. Vol. 11(3), Article number: 484. DOI: 10.3390/w11030484
11. Kiryushin V.I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agrocenoses in Adaptive-Landscape Farming Systems // *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52, № 9. P. 1137–1145. DOI: 10.1134/S1064229319070068
12. Kiryushin, V.I. Methodology for integrated assessment of agricultural land // *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53, № 7. P. 960–967. DOI: 10.1134/S1064229320070066
13. Kuhling I., Redozubov D., Broll G., Trautz D. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia // *Soil Tillage Research*. 2017. Vol. 170, P. 43–52. DOI: 10.1016/j.still.2017.02.009
14. Sithole N. J., Magwaza L. S., Sithole N. J., G. R. Thibaud. Long-term impact of no-till conservation agriculture and N-fertilizer on soil aggregate stability, infiltration and distribution of C in different size fractions // *Soil Tillage Research*. 2019. Vol. 190, P. 147–156. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.004
15. 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. DOI: 10.1016/j.still.2019.01.004

References

1. Bashnyak I.M., Bashnyak S.E. Issledovanie tekhnologii predpolivnogo shchelevaniya pochvy i obosnovanie konstruktivnykh shchelevatelya [Study of the technology of pre-irrigation soil slotting and justification for the design of the slitting machine] // *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. № 2–3(28). S. 62–69.
2. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniya) [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. D'yachenko E. N., Razina A.A., Shevelev A.T., Dyatlova O.G. Tekhnologiya kompleksnogo primeneniya udobrenii, khimicheskikh i biologicheskikh meliorantov, sredstv zashchity rastenii v plodosmennom sevooborote [Technology for the integrated use of fertilizers, chemical and biological ameliorants, plant protection products in fruit crop rotation] // *Zemledelie*. 2018. № 3. S. 28–31. DOI: 10.24411/0044-3913-201810306
4. Ivanchik V.A., Afanas'ev R.A. Produktivnost' yarovoi pshenitsy v usloviyakh Tsentral'nogo Nechernozem'ya pod vliyaniem mineral'nykh udobrenii [Spring wheat productivity in the conditions of the central Non-Blackearth region under the influence of mineral fertilizers] // *Plodorodie*. 2020. № 2. S. 20–23. DOI: 10.26680/S19948603.2020.113.06
5. Mitrofanov Yu. I., Gulyaev M. V., Pugacheva L. V., Pervushina N. K. Novyi sposob shchelevaniya osushaemykh pochv [A new method of slotting drained soils] // *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2022. № 5. S. 541–545. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_5_541
6. Mitrofanov Yu. I., Antsiferova O. N. Grebnistyiy sposob poseva zernovykh kul'tur na osushaemykh zemlyakh [Ridge method of sowing grain crops on drained lands] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2020. Т. 21, № 3. С. 301–312. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.301-312
7. Новоселов С.И., Кузьминых А.Н., Еремеев Р.В. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки и севооборота [Soil fertility and grain crop productivity depending on basic cultivation and crop rotation] // *Плодородие*. 2019. № 6(111). С. 22–25. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.06
8. Ponomarev A. V., Kremneva O. Yu., Gasiyan K. E., Danilov R. Yu. Vliyanie sposobov obrabotki pochvy na razvitie boleznei pshenitsy [The effect of soil cultivation methods on the development of wheat diseases] // *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2022. Т. 17, № 4 (65). С. 174–181. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-4-174-181
9. Blanco-Canqui H., Ruis S. J. No-tillage and soil physical environment // *Geoderma*. 2018. Vol. 326. P. 164–200. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.03.011
10. Castellini M., Fornaro F., Garofalo P., Giglio L., Rinaldi M., Ventrella D., Vitti C., Vonella A. V. Effects of no-tillage and conventional tillage on physical and hydraulic properties of fine textured soils under winter wheat // *Water*. 2019. Vol. 11(3), Article number: 484. DOI: 10.3390/w11030484
11. Kiryushin, V.I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agrocenoses in Adaptive-Landscape Farming Systems // *Eurasian Soil Science*. 2019. Vol. 52, № 9. P. 1137–1145. DOI: 10.1134/S1064229319070068
12. Kiryushin, V.I. Methodology for integrated assessment of agricultural land // *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53, № 7. P. 960–967. DOI: 10.1134/S1064229320070066

13. Kuhling I., Redozubov D., Broll G., Trautz D. Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia // *Soil Tillage Research*. 2017. Vol. 170, P. 43–52. DOI: 10.1016/j.still.2017.02.009
14. Sithole N. J., Magwaza L. S., Sithole N. J., G. R. Thibaud. Long-term impact of no-till conservation agriculture and N-fertilizer on soil aggregate stability, infiltration and distribution of C in different size fractions // *Soil Tillage Research*. 2019. Vol. 190, P. 147–156. DOI: 10.1016/j.still.2019.03.004
15. 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. DOI:10.1016/j.still.2019.01.004

Поступила: 14.08.23; доработана после рецензирования: 30.10.23; принята к публикации: 07.11.23.

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. Митрофанов Ю. И. – концептуализация и интерпретация результатов исследований, руководство выполнением полевых опытов, анализ полученных данных, подготовка рукописи; Пугачева Л. В. – обзор литературы, выполнение полевых опытов, сбор и анализ экспериментальных данных, составление таблиц; Гуляев М. В. – закладка и выполнение опытов, проведение полевых исследований, сбор данных; Первушина Н. К. – проведение полевых исследований, сбор данных, математическая обработка, составление и анализ табличного материала.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ СЕВОБОРОТОВ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЦЧР

В. А. Лукьянов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

Л. Б. Нитченко, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, Nitchenko58@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8744-6130

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Курский федеральный аграрный научный центр»,

305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70б; Тел.: +7(4712) 53-42-56; e-mail: kurskfarc@mail.ru

Экономическая эффективность является неотъемлемым методом анализа агротехнологий, особенно на фоне повышения цен на СЗР, семена, удобрения, ГСМ. Выявление и внедрение наиболее эффективных способов выращивания полевых культур с использованием севооборотов и удобрений остается актуальной задачей. Цель исследований заключалась в изучении влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, в анализе экономической и энергетической эффективности ее возделывания в условиях Центрально-Черноземного региона. Исследования проводили в 2016, 2020 гг. в условиях опытного поля ФГБНУ «Курский ФАНЦ», почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый среднегумусный. Схема опыта включала факторы: севооборот – зернопаропропашной, зернотравянопропашной и зернотравяной; дозы удобрений – без удобрений, $N_{20}P_{40}K_{40}$ и $N_{40}P_{80}K_{80}$. Агрометеорологические условия по ротациям изучаемых севооборотов отличались незначительно. В результате исследований было установлено, что урожайность зерна озимой пшеницы в зернотравяном и зернотравянопропашном севооборотах была на 17,2 и 13,8 % ниже, чем в зернопаропропашном. При внесении минеральных удобрений в дозе $N_{40}P_{80}K_{80}$ отмечена наибольшая урожайность озимой пшеницы – 4,52 т/га. Самая низкая себестоимость зерна показана в зернопаропропашном севообороте, которая изменялась от 4,68 до 5,04 тыс. руб./т за счет более высокой урожайности, по сравнению с другими изучаемыми севооборотами и с дозой $N_{20}P_{40}K_{40}$ (4,68, 4,80 и 4,97 тыс. руб./т соответственно по севооборотам). Более высокий уровень рентабельности – 113,7 % был в зернопаропропашном севообороте с дозой минеральных удобрений $N_{20}P_{40}K_{40}$, доза $N_{40}P_{80}K_{80}$ не позволила получить высокую окупаемость удобрений. Энергоемкость производства возростала с повышением доз вносимых удобрений, ее минимальные значения отмечены в зернопаропропашном севообороте (1,35–2,77 ГДж/т). Коэффициенты энергетической эффективности при внесении дозы $N_{20}P_{40}K_{40}$ в севооборотах были более высокие, чем при внесении $N_{40}P_{80}K_{80}$.

Ключевые слова: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), агротехнологии, севооборот, минеральные удобрения, урожайность, экономическая и энергетическая эффективность.

Для цитирования: Лукьянов В. А., Нитченко Л. Б. Влияние севооборотов и минеральных удобрений на показатели экономико-энергетической эффективности при возделывании озимой пшеницы в ЦЧР // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 90–98. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-90-98.



THE EFFECT OF CROP ROTATIONS AND MINERAL FERTILIZERS ON ECONOMIC AND ENERGY EFFICIENCY INDICATORS WHEN CULTIVATING WINTER WHEAT IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

V. A. Lukyanov, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, lukyanov27@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1764-4083;

L. B. Nitchenko, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, Nitchenko58@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8744-6130

Federal Agricultural Kursk Research Center

305021, Kursk, Karl Marks str., 70b; Tel.: +7(4712) 53-42-56; e-mail: kurskfarc@mail.ru

Economic efficiency is an integral method of analyzing agricultural technologies, especially against the rising prices for plant protection products, seeds, fertilizers, and fuels and lubricants. Identification and implementation of the most effective methods of field crops, growing using crop rotation and fertilizers remains an urgent task. The purpose of the current research was to study the effect of crop rotations and doses of mineral fertilizers on productivity of winter wheat grain, to analyze the economic and energy efficiency of its cultivation in the conditions of the Central Blackearth region. The study was carried out in the conditions of the experimental field of the Federal Agricultural Kursk Research Center in 2016, 2020. The soil of the experimental plot was typical medium-loamy, medium-humus blackearth (chernozem). The experimental scheme included such factors as grain-fallow-row crop, grain-grass-row crop, and grain-grass rotations; with doses of fertilizers or without fertilizers, $N_{20}P_{40}K_{40}$ and $N_{40}P_{80}K_{80}$. The weather con-

ditions for the rotations of the studied crop rotations differed slightly. As a result of the study, there was found that winter wheat grain productivity in grain-grass and grain-grass-row crop rotations was 17.2 and 13.8 % lower than in grain-fallow-row crop rotation. When applying mineral fertilizers at a dose of $N_{40}P_{80}K_{80}$, the largest winter wheat productivity was 4.52 t/ha. The lowest cost of grain was established in the grain-fallow-row crop rotation, which varied from 4.68 to 5.04 thousand rubles/t due to higher yields compared to other studied crop rotations and with a dose of $N_{20}P_{40}K_{40}$ (4.68, 4.80 and 4.97 thousand rubles/t, respectively for crop rotations). A higher level of profitability of 113.7 % was observed in grain-fallow-row crop rotation with a dose of mineral fertilizers $N_{20}P_{40}K_{40}$, a dose of $N_{40}P_{80}K_{80}$ not allowing obtaining a high payback of fertilizers. The energy intensity of production increased with increasing doses of applied fertilizers; its minimum values were determined in grain-fallow-row crop rotation (1.35–2.77 GJ/t). Energy efficiency coefficients when applying a dose of $N_{20}P_{40}K_{40}$ in crop rotations were higher than when applying $N_{40}P_{80}K_{80}$.

Keywords: winter wheat (*Triticum aestivum* L.), agricultural technologies, crop rotation, mineral fertilizers, yield, economic and energy efficiency.

Введение. Стратегия по обеспечению страны полноценными продуктами питания и кормами требует внедрения эффективных адаптивных агротехнологий, включающих научно обоснованную систему удобрений, обработки почвы, биологизированных севооборотов, экологичную защиту растений.

В настоящее время экономическое положение аграрного производства ухудшилось вследствие сложившегося диспаритета цен, наблюдается опережающий рост затрат энергии на производство единицы продукции (Мелихова и др., 2020; Pederieva et al., 2019). В таких условиях экономия ресурсов является одной из важнейших проблем современного агропроизводства, так как необходима разработка новых агротехнологий возделывания полевых культур высокого качества с меньшими затратами на единицу продукции, при этом окупаемость должна формироваться не только за счет прироста урожая, но и за счет снижения себестоимости продукции, повышения ее качества (Великанова и др., 2018; Кислов и др., 2018). Оценка биоэнергетической эффективности производства сельскохозяйственной продукции является актуальным информационным ресурсом, которая позволяет оценить распределение энергоёмкости по отдельным технологическим операциям и разработать способы ее снижения с каждого гектара почвы при наименьших затратах энергии в форме удобрений, пестицидов, топлива, средств механизации и т.д. (Дзюин, 2021; Семашкина и др., 2019).

Озимая пшеница является важнейшей зерновой культурой в России, поэтому повышение ее продуктивности и качества – одна из основных задач товаропроизводителя. На продуктивность озимой пшеницы существенно влияет расположение в севообороте, но в большей степени она зависит от вносимых минеральных удобрений, а также правильных сочетаний других технологических приемов – способов обработки почвы, защиты растений, наиболее урожайных сортов (Janusauskaitė, 2022; Merzlaya et al., 2021).

Использование удобрений как дорогостоящий ресурс должно обосновываться исходя из экономической целесообразности, поэтому важным фактором является сбалансированное обеспечение питательными веществами на каждой стадии роста и развития растений (Алиев и др., 2019; Monreal et al., 2016). В связи с этим

возрастает роль элементов системы возделывания озимой пшеницы, в частности, применение научно обоснованных систем удобрения культуры в совокупности с размещением в севообороте по наилучшим предшественникам. Для формирования высоких урожаев озимых культур и повышения продуктивности пашни необходимо разработать эффективную систему удобрений под каждую культуру севооборота (Дзанагов и др., 2019; Петрова и др., 2021; Soltanaeva et al., 2018). На таком фоне правильно разработанный севооборот, учитывающий конкретные экономические и почвенно-климатические особенности хозяйств, обеспечит систематическое повышение плодородия почвы. Включение в севооборот традиционных биологических форм воспроизводства почвенного плодородия, например, многолетних бобовых трав, обеспечивает не только сбалансированность кормов по протеину, но и пополняет в почве содержание азота (Gurin et al., 2021; Mukhametov et al., 2021).

Цель исследований – изучение влияния севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, анализ экономической и энергетической эффективности ее возделывания в условиях Центрально-Черноземного региона.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования – озимая пшеница, возделываемая в 2015/2016, 2019/2020 сельскохозяйственных годах на водораздельном плато опытного поля ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (с. Панино, Курская область, Медвенский район).

Схема опыта включала следующие факторы:

– севооборот (фактор А): зернопаропашной: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) – чистый пар; зернотравянопаропашной: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) – кукуруза (*Zéa máys*) на зеленый корм – ячмень (*Hordeum vulgare*) + многолетние травы (*Onobrychis arenária*) – (*Triticum aestivum* L.) – ячмень (*Hordeum vulgare*) + многолетние травы (*Onobrychis arenária*) – многолетние травы первого года (*Onobrychis arenária*) – многолетние травы второго года (*Onobrychis arenária*);

– минеральные удобрения (фактор В): без внесения минеральных удобрений (контроль), доза удобрений – $N_{20}P_{40}K_{40}$, доза удобрений $N_{40}P_{80}K_{80}$.

Опыт заложен методом расщепленных делянок, площадь которых составляла 100 м². Севообороты размещены во времени. Минеральные удобрения вносили вручную под основную обработку почвы. Сорт озимой пшеницы Синтетик (оригинатор – ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»), норма высева семян – 5 млн шт./га.

Почва опытного участка – чернозем типичный среднесуглинистый среднегумусный. Содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 5,9 %, щелочногидролизующего азота (метод Корнфилда) – 18,0 мг/100 г, подвижного фосфора (ГОСТ 26204-91) – 14,8 мг/100 г, подвижного калия (ГОСТ 26204-91) – 11,7 мг/100 г почвы, рНКСI (ГОСТ 26483-85) – 6,5.

Оценку условий увлажнения проводили с учетом гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова: ГТК < 0,4 – сухая; ГТК = 0,4–0,7 – очень засушливая; ГТК = 0,7–1,0 – засушливая; ГТК = 1,0–1,3 – слабо засушливая; ГТК = 1,3–1,6 – достаточно влажная;

ГТК > 1,6 – избыточно влажная. Обработку экспериментальных данных проводили методами дисперсионного (Доспехов, 2014) анализа с использованием программы Statistica 10.0. Экономическую и энергетическую эффективность результатов исследований рассчитали на основе технологических карт с использованием типовых норм в ценах 2020 года.

Агрометеорологические условия в период проведения исследований различались по ротациям изучаемых севооборотов незначительно. Среднегодовая температура воздуха была одинаковой в 2015/2016 и 2019/2020 сельскохозяйственных годах и составила + 9,1 °С. Количество выпавших осадков составило в 2015/2016 г. 837 мм (129,2 % к средней многолетней норме), в 2019/2020 г. – 561 мм (86,6 % к средней многолетней норме). Активные температуры при возобновлении весенней вегетации культуры отмечены только начиная с мая. Данные ГТК в период активной вегетации озимой пшеницы представлены на рисунке 1.

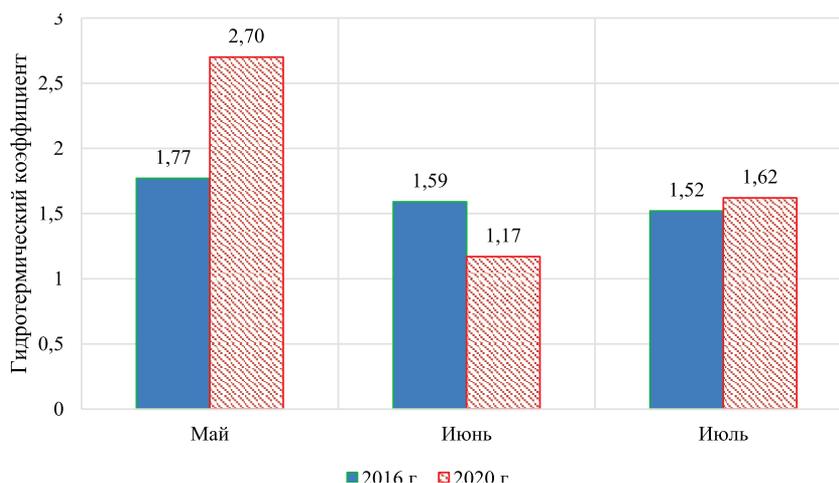


Рис. 1. Гидротермический режим в период проведения исследований
Fig. 1. Hydrothermal regime during the period of study

Из приведенного графика видно, что в мае 2016, 2020 и в июле 2020 г. ГТК составил более 1,6, то есть условия увлажнения были избыточно влажные. В июне и июле 2016 г. ГТК = 1,59 и 1,52 указывали на достаточно влажные, в июне 2020 г. ГТК = 1,17 – на слабо засушливые условия увлажнения. Оценивая весь вегетационный период озимой пшеницы, гидротермические условия в 2015/2016 с.х. г. складывались избыточно влажные (ГТК = 1,64), в 2019/2020 г. – достаточно влажные (ГТК = 1,52).

Результаты и их обсуждение. Согласно полученным результатам урожайность зерна озимой пшеницы определялась в большей степени воздействием минеральных удобрений и в меньшей – севооборотов, доля влияния которых составила 63,9 и 36,1 % соответственно ($НСР_{05}$: A = 0,04; B = 0,04; AB = 0,07). Различия в урожайности озимой пшеницы, полученной в изучаемых севооборотах, были достоверны на 5-процентном уровне значимости при $НСР_{05} = 0,04$ т/га (табл. 1).

Таблица 1. Влияние севооборотов и доз минеральных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы, т/га (средняя 2016, 2020 гг.)
Table 1. Effect of crop rotations and doses of mineral fertilizers on productivity of winter wheat grain, t/ha (mean in 2016, 2020)

Севооборот (фактор А)	Минеральные удобрения (фактор В)			средняя
	без удобрений	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀	
Зернопаропропашной	3,58	4,30	4,52	4,13
Зернотравнопропашной	3,00	3,74	3,95	3,56
Зернотравяной	2,83	3,61	3,82	3,42
Средняя	3,14	3,88	4,10	3,71
НСР ₀₅ , т/га	A = 0,04; B = 0,04; AB = 0,07			
Доля влияния факторов, %	A = 36,1; B = 63,9			

В зернопаропропашном севообороте паровой предшественник под озимую пшеницу способствовал получению урожайности зерна от 3,58 до 4,52 т/га, в зернотравянопропашном с многолетними бобовыми травами урожайность варьировала от 3,00 до 3,95 т/га, а в зернотравяном – от 2,83 до 3,82 т/га. Урожайность зерна озимой пшеницы составила в среднем в зернопаропропашном севообороте 4,13 т/га; в зернотравянопропашном была ниже на 13,8 %, в зернотравяном – ниже на 17,2 %. В варианте без удобрений средняя урожайность по севооборотам составила 3,14 т/га, с дозой $N_{20}P_{40}K_{40}$ – 3,88 т/га, с дозой $N_{40}P_{80}K_{80}$ – 4,10 т/га, то есть была выше на 23,6 и 30,6 % соответственно.

В зернопаропропашном севообороте урожайность зерна в варианте без удобрений составила 3,58 т/га, что было достоверно (при $HCP_{05} = 0,04$ т/га) выше на 0,58 т/га по сравнению с зернотравянопропашным и на 0,75 т/га по сравнению с зернотравяным севооборотами. На фоне применения минеральных удобрений в дозе $N_{20}P_{40}K_{40}$ в зернопаропропашном севообороте урожайность повысилась на 0,72 т/га, в дозе $N_{40}P_{80}K_{80}$ – на 0,94 т/га по сравнению с вариантом без удобрений. В зернотравянопропашном севообороте урожайность зерна на фоне применения удобрений составила 3,00 т/га. При внесении одинарной дозы удобрений $N_{20}P_{40}K_{40}$ урожайность повысилась до 3,74 т/га, с внесением двойной дозы удобрений $N_{40}P_{80}K_{80}$ – до 3,95 т/га. В зернотравяном севообороте урожайность озимой пшеницы была самой низкой – 2,83 т/га в вариан-

те без удобрений, 3,61 и 3,82 т/га при внесении $N_{20}P_{40}K_{40}$ и $N_{40}P_{80}K_{80}$ соответственно.

Согласно полученным результатам урожайность озимой пшеницы достоверно возросла с повышением дозы внесения минеральных удобрений. Самая высокая урожайность озимой пшеницы получена в зернопаропропашном севообороте при внесении дозы удобрений $N_{40}P_{80}K_{80}$ – 4,52 т/га.

В результате исследований установлено, что содержание белка в зерне озимой пшеницы (рис. 2) определялось в основном влиянием севооборотов, доля влияния севооборотов составила 93,1 %, минеральных удобрений – 6,9 %. Наименьшие значения содержания белка получены в зернотравянопропашном севообороте – 11,4–11,7 %, наибольшие в зернотравяном – 13,0–13,4 %. В зернопаропропашном севообороте содержание белка было в среднем достоверно больше на 1,2 % по сравнению с зернотравянопропашным и на 0,4 % меньше по сравнению с зернотравяным севооборотом ($HCP_{05} = 0,2$ %).

В зернопаропропашном севообороте без внесения минеральных удобрений содержание белка составило 12,4 % и было достоверно больше при внесении $N_{20}P_{40}K_{40}$ на 0,4 %, при внесении $N_{40}P_{80}K_{80}$ – на 0,7 %. В зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах значимая прибавка отмечена с дозой удобрений $N_{40}P_{80}K_{80}$ – соответственно 0,3 и 0,4 %. Наибольшее содержание белка (13,4 %) получено при внесении $N_{40}P_{80}K_{80}$ в зернотравяном севообороте.

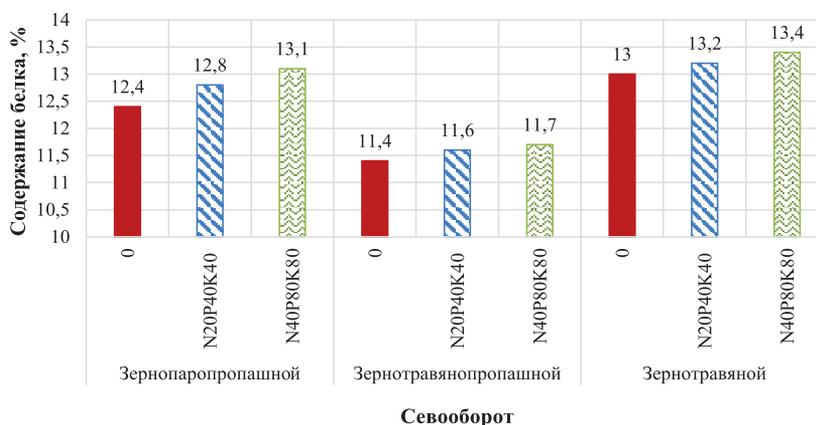


Рис. 2. Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов (средняя 2016, 2020 гг.)

Fig. 2. Protein in winter wheat grain depending on the factors studied (mean in 2016, 2020)

Примечание. HCP_{05} %: A = 0,2, B = 0,2, AB = 0,4; доля влияния факторов, %: A = 93,1, B = 6,9.

Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы на 88 % определялось влиянием се-

вооборотов и на 12 % влиянием минеральных удобрений (рис. 3).

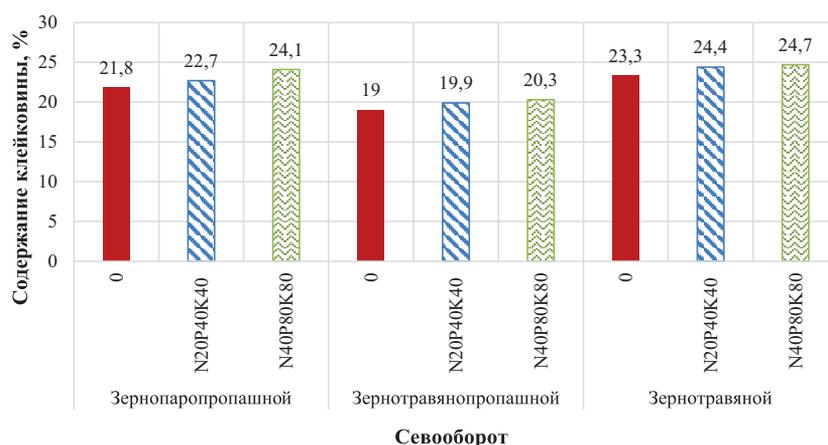


Рис. 3. Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов (средняя 2016, 2020 гг.)

Fig. 3. Gluten in winter wheat grain depending on the factors studied (mean in 2016, 2020)

Примечание. HCP_{05} , %: $A = 0,8$, $B = 0,8$, $AB = 1,3$; доля влияния факторов, %: $A = 88,0$, $B = 12,0$.

Наименьшие значения содержания клейковины получены в зернотравянопропашном севообороте – 19,0–20,3 %, наибольшие в зернотравяном – 23,3–24,7 %. Среднее содержание клейковины в зернопаропропашном севообороте составило 22,9 %, в зернотравянопропашном – 19,7 %, в зернотравяном – 24,1 %. Внесение минеральных удобрений достоверно повышало содержание клейковины: в зернопаропропашном севообороте – на 0,9–2,3 %, в зернотравянопропашном – на 0,9–1,3 %, в зернотравяном – на 1,1–1,4 % ($HCP_{05} = 0,8$ %). Наибольшее содержание клейковины (24,7 %)

получено при внесении $N_{40}P_{80}K_{40}$ в зернотравяном севообороте.

Натура зерна озимой пшеницы (рис. 4) определялась преимущественно влиянием севооборотов – 73,2 %, доля влияния минеральных удобрений составила 26,8 %. В зернопаропропашном севообороте натура зерна в среднем составила 745 г/л, в зернотравянопропашном – 760 г/л, в зернотравяном – 755 г/л. Различия по натуре зерна между зернопаропропашным и другими изучаемыми севооборотами были достоверными на 5%-м уровне значимости ($HCP_{05} = 8$ г/л).

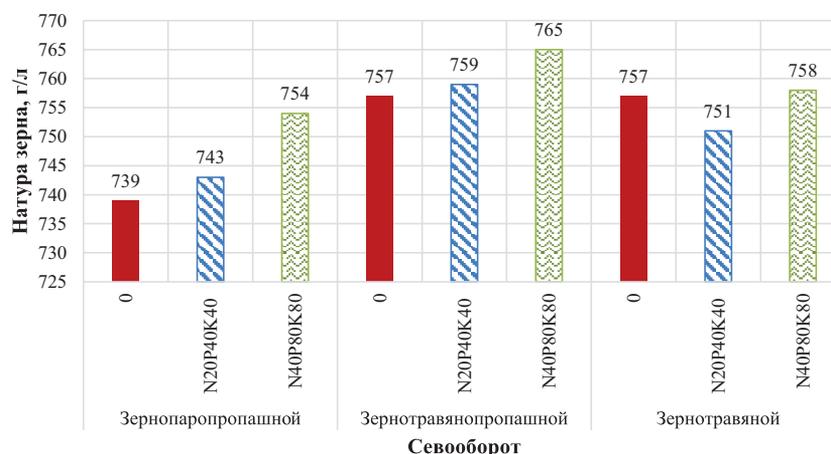


Рис. 4. Натура зерна озимой пшеницы в зависимости от изучаемых факторов (средняя 2016, 2020 гг.)

Fig. 4. Winter wheat grain nature weight depending on the factors studied (mean in 2016, 2020)

Примечание. HCP_{05} , г/л: $A = 8$, $B = 8$, $AB = 15$; доля влияния факторов, %: $A = 73,2$, $B = 26,8$.

Достоверное влияние минеральных удобрений на натуре зерна было отмечено в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах при внесении $N_{40}P_{80}K_{40}$ ($HCP_{05} = 8$ г/л).

Наиболее важными показателями экономической эффективности являются прибыль и рентабельность. Чем выше прибыль и ниже себестоимость произведенной продукции, тем

выше уровень рентабельности и эффективнее производство той или иной культуры. Расчет экономической эффективности показал, что затраты на выращивание озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте были выше на 10,1–10,8 % по сравнению с ее возделыванием в зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах (табл. 2).

Таблица 2. Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и доз минеральных удобрений (средняя 2016, 2020 гг.)
Table 2. Economic efficiency of winter wheat cultivation depending on crop rotation and doses of mineral fertilizers (mean in 2016, 2020)

Экономические показатели	Минеральные удобрения		
	0	N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀	N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀
Зернопаропропашной севооборот			
Урожайность зерна, т/га	3,58	4,30	4,52
Стоимость продукции, тыс. руб./га	35,8	43,0	45,2
Прямые затраты, тыс. руб./га	17,54	20,12	22,80
Себестоимость зерна, тыс. руб./т	4,90	4,68	5,04
Прибыль, тыс. руб./га	18,26	22,88	22,40
Рентабельность, %	104,1	113,7	98,2
Зернотравянопропашной севооборот			
Урожайность зерна, т/га	3,00	3,74	3,95
Стоимость продукции, тыс. руб./га	30,0	37,4	39,5
Прямые затраты, тыс. руб./га	15,76	17,94	20,44
Себестоимость зерна, тыс. руб./т	5,26	4,80	5,17
Прибыль, тыс. руб./га	14,23	19,46	19,06
Рентабельность, %	90,3	108,4	93,3
Зернотравяной			
Урожайность зерна, т/га	2,83	3,61	3,82
Стоимость продукции, тыс. руб./га	28,3	36,1	38,2
Прямые затраты, тыс. руб./га	15,75	17,93	20,43
Себестоимость зерна, тыс. руб./т	5,57	4,97	5,35
Прибыль, тыс. руб./га	12,53	18,16	17,76
Рентабельность, %	79,5	101,2	86,9

При внесении минеральных удобрений в дозе N₂₀P₄₀K₄₀ прямые затраты возрастали на 13,8–14,7 %, при дозе N₄₀P₈₀K₈₀ – на 29,7–30,0 % по сравнению с вариантом без удобрений.

Себестоимость зерна озимой пшеницы была ниже в зернопаропропашном севообороте (4,68–5,04 тыс. руб./т) за счет более высокой урожайности по сравнению с другими изучаемыми севооборотами. При дозе N₂₀P₄₀K₄₀ получена самая низкая себестоимость зерна – 4,68, 4,80 и 4,97 тыс. руб./т соответственно по севооборотам.

Большой доход был отмечен в зернопаропропашном севообороте, который увеличивался с используемыми дозами удобрений от 18,26 до 22,88 тыс. руб./т, при этом более эффективна была доза N₂₀P₄₀K₄₀. В зернотравянопропашном севообороте прибыль изменялась от 14,23 до 19,46 тыс. руб./га, в зернотравяном – от 12,53 до 18,16 тыс. руб./га по исследуемому уровню минерального питания.

Без внесения минеральных удобрений в севооборотах получены минимальные значения рентабельности (79,5–104,1 %), с дозой N₂₀P₄₀K₄₀ – максимальные (101,2–113,7 %). С дозой N₄₀P₈₀K₈₀ рентабельность повышалась от 86,9 до 98,2 %, в данном случае недостаточная прибавка урожая озимой пшеницы не обеспечивала в севооборотах повышение рентабельности производства. Весьма эффективно было возделывание озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте с дозой удобрений N₂₀P₄₀K₄₀, при котором уровень рентабельности составил 113,7 %.

В дополнение к оценке экономической эффективности нами была определена энерге-

тическая эффективность, которая позволила провести анализ по общей энергоёмкости изучаемых агротехнологий. Модель расчета предполагает выбор наименее энергозатратных агроприемов, в которых энергосодержание продукции будет превышать затраты на ее производство. Различия по совокупным энергетическим затратам в севооборотах определялись в основном действием минеральных удобрений и изменялись от 7,7 до 15,7 ГДж/га. В зернопаропропашном севообороте использование N₂₀P₄₀K₄₀ увеличивало затраты до 11,9 ГДж/га, в зернотравянопропашном и зернотравяном – до 11,6, 11,5 ГДж/га соответственно. Увеличение дозы удобрений в 2 раза привело к повышению энергетических затрат в среднем на 32,6 % по сравнению с N₂₀P₄₀K₄₀ (табл. 3).

Энергоёмкость производства зерна для всех севооборотов возрастала на всем диапазоне увеличения дозы удобрения, причем максимальное ее значение (1,59–3,17 ГДж/т) присуще зернотравяному севообороту. В зернопаропропашном севообороте энергоёмкость изменялась от 1,35 до 2,77 ГДж/т и отличалась самыми минимальными значениями, что свидетельствует о тенденции снижения энергоёмкости производства зерна озимой пшеницы с учетом более высокой урожайности зерна. Коэффициент энергетической эффективности находился в обратной зависимости от энергоёмкости: в вариантах без минеральных удобрений по севооборотам он составил 8,5, 7,5 и 7,2 эн. экв. соответственно, с N₂₀P₄₀K₄₀ происходило снижение от 5,7 до 5,0, с дозой N₄₀P₈₀K₈₀ – от 4,1 до 3,6 эн. экв.

Таблица 3. Энергетическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и доз минеральных удобрений (средняя 2016, 2020 гг.)
Table 3. Energy efficiency of winter wheat cultivation depending on crop rotation and doses of mineral fertilizers (mean in 2016, 2020)

Севооборот	Урожайность, т/га	Совокупные энергетические затраты, ГДж/га	Энергоемкость, ГДж/т	Коэффициент энергетической эффективности, эн.экв.
Без удобрений				
Зернопаропропашной	3,58	8,0	1,35	8,5
Зернотравянопро-пашной	3,00	7,8	1,53	7,5
Зернотравяной	2,83	7,7	1,59	7,2
Доза удобрений N ₂₀ P ₄₀ K ₄₀				
Зернопаропропашной	4,30	11,9	2,03	5,7
Зернотравянопро-пашной	3,74	11,6	2,25	5,1
Зернотравяной	3,61	11,5	2,31	5,0
Доза удобрений N ₄₀ P ₈₀ K ₈₀				
Зернопаропропашной	4,52	15,7	2,77	4,1
Зернотравянопро-пашной	3,95	15,4	3,09	3,7
Зернотравяной	3,82	15,3	3,17	3,6

Выводы. В ходе сравнительной оценки изучаемых факторов урожайность зерна озимой пшеницы определялась на 63,9 % влиянием минеральных удобрений и на 36,1 % – севооборотов. Наиболее высокая урожайность озимой пшеницы получена при внесении удобрений в дозе N₄₀P₈₀K₈₀ – 4,52 т/га в зернопаропропашном севообороте, что говорит о преимуществе паровых предшественников. В зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах урожайность снижалась на 13,8 и 17,2 % соответственно по сравнению с зернопаропропашным.

Изучаемые факторы в опыте оказывали достоверное влияние на изменение показателей качества зерна озимой пшеницы, но наибольшее влияние отмечено по севооборотам. Более высокое содержание белка получено в зернотравяном севообороте – 13,0–13,4 % по дозам удобрений соответственно. Использование дозы минеральных удобрений N₄₀P₈₀K₄₀ оказало значительное влияние на повышение клейковины до 24,7 % (в зернотравя-

ном севообороте). Различия по натуре зерна между зернопаропропашным и другими изучаемыми севооборотами были достоверными на 5%-м уровне значимости (НСР₀₅ = 8 г/л), она увеличивалась с применением минеральных удобрений и была выше в зернотравянопропашном севообороте (760 г/л).

Минеральные удобрения обеспечивали повышение доходности от зернотравяного к зернопаропропашному севообороту, при этом эффективнее была доза N₂₀P₄₀K₄₀. Высокая прибавка урожая озимой пшеницы в зернопаропропашном севообороте позволила получить рентабельность производства – 113,7 % на фоне минеральных удобрений N₂₀P₄₀K₄₀. Коэффициент энергетической эффективности производства зерна озимой пшеницы снижался с увеличением энергозатрат от 8,5 до 3,6 и был выше в зернопаропропашном севообороте.

Финансирование. Работа выполнена по теме государственного задания № FGZU-2022-0005.

Библиографические ссылки

- Алиев А. М., Цимбалист Н. И., Старостина Е. Н., Ивашенков Г. А. Урожайность озимой пшеницы и окупаемость удобрений при длительном применении средств химизации в полевом севообороте // Плодородие. 2019. № 1(106). С. 17–19. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.05
- Великанова Л. О., Курносова Н. С., Трубилин Е. И., Бойко Е. С. Экономическая и биоэнергетическая оценка альтернативных технологий возделывания озимой пшеницы в условиях Центральной зоны Краснодарского края // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 138. С. 60–77. DOI: 10.21515/1990-4665-138-012
- Дзанагов С. Х., Лазаров Т. К., Калоев Б. С., Кубатиева З. А., Калагова Р. В. Влияние длительного применения удобрений на показатели роста, урожайность и качество зерна озимой пшеницы // Агрохимия. 2019. № 4. С. 31–38. DOI: 10.1134/S0002188119020066
- Дзюин А. Г. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на урожайность яровой пшеницы и окупаемость удобрений в длительном стационарном опыте // Агрохимия. 2021. № 7. С. 36–46. DOI: 10.31857/S0002188121070048
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
- Кислов А. В., Глинушкин А. П., Кашеев А. В. Агроэкономические основы повышения устойчивости земледелия в степной зоне // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 7. С. 9–13. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10702
- Мелихова Н. П., Зинченко Е. В., Зибаров А. А., Тегесов Д. А. Совершенствование структуры посевных площадей и агротехнологий сельскохозяйственных культур в системе специализирован-

- ных севооборотов – надежная гарантия стабилизации сельскохозяйственного производства и плодородия почвы // *Нива Поволжья*. 2020. № 2(55). С. 16–21. DOI: 10.36461/NP.2020.2.55.003
8. Петрова Л.И., Митрофанов Ю.И., Гуляев М.В., Первушина Н.К. Влияние удобрений на агрохимические показатели плодородия почвы и продуктивность севооборота // *Плодородие*. 2021. № 5(122). С. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.02
9. Семашкина А.И., Заживнова О.А., Солнцева О.В. Биоэнергетическая и экономическая оценка эффективности применения микроэлементов цинка и марганца в технологии возделывания озимой пшеницы // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 3(47). С. 48–53. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-48-53
10. Gurin A., Ignatova G., Stepanova E., Tarakin A., Velkova N. Assimilation surface and photosynthetic activity evaluation of winter wheat planting according to forecrops and mineral fertilizers // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 254, Article number 05001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405001
11. Janusauskaite, D. Leaf senescence of winter wheat and spring wheat as influenced by tillage and fertilization management // *Acta physiologiae plantarum*. 2022. Vol. 44(7), Article number 74. DOI: 10.1007/s11738-022-03399-2
12. Merzlaya G., Afanasyev R.A., Mukhina M., Mozharova I., Bereznov A., Astarkhanova T., Zargar M. Comparative efficiency of organic, mineral and organo-mineral fertilizer on soil properties and crops // *Research on crops*. 2021. Vol. 22, № 4. P. 841–848. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.139
13. Monreal C.M., Derosa M., Mallubhotla S.C., Bindraban P.S., Dimkpa C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients // *Biology and Fertility of Soils*. 2016. Vol. 52, № 3. P. 423–437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5
14. Mukhametov A., Bekhorashvili N., Avdeenko A., Mikhaylov A. The impact of growing legume plants under conditions of biologization and soil cultivation on chernozem fertility and productivity of rotation crops // *Legume Research*. 2021. Vol. 44, № 10. P. 1219–1225. DOI: 10.18805/LR-573
15. Pederieva V., Wolters I., Esaulko A., Vlasova O. Wolters Economic efficiency of winter wheat cultivation according to traditional and zero technology // *The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS*. 2019. Vol. 76. P. 3330–3336. DOI: 10.15405/epsbs.2019.12.04.447
16. Soltanaeva A., Vassilina T., Suleimenov B., Saparov G., Vassilina T. Effect of sulfur-containing fertilizers on the chemical properties of soil and winter wheat yield // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2018. Vol. 24, № 4. P. 586–591.

References

1. Aliev A.M., Tsimbalist N.I., Starostina E.N., Ivashenkov G.A. Urozhainost' ozimoi pshenitsy i okupaemost' udobrenii pri dlitel'nom primenenii sredstv khimizatsii v polevom sevooborote [Winter wheat productivity and payback of fertilizers with long-term use of chemicals in field crop rotation] // *Plodorodie*. 2019. № 1(106). S. 17–19. DOI: 10.25680/S19948603.2019.106.05
2. Velikanova L. O., Kurnosova N. S., Trubilin E. I., Boiko E. S. Ekonomicheskaya i bioenergeticheskaya otsenka al'ternativnykh tekhnologii vzdelyvaniya ozimoi pshenitsy v usloviyakh Tsentral'noi zony Krasnodarskogo kraya [Economic and bioenergy estimation of alternative cultivation technologies of winter wheat in the conditions of the Central zone of the Krasnodar Territory] // *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. № 138. S. 60–77. DOI: 10.21515/1990-4665-138-012
3. Dzanagov S. Kh., Lazarov T.K., Kaloev B.S., Kubatieva Z.A., Kalagova R.V. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobrenii na pokazateli rosta, urozhainost' i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy [The influence of long-term use of fertilizers on growth rates, yield and grain quality of winter wheat] // *Agrokhimiya*. 2019. № 4. S. 31–38. DOI: 10.1134/S0002188119020066
4. Dzyuin, A. G. Vliyanie mineral'nykh udobrenii i pogodnykh uslovii na urozhainost' yarovoi pshenitsy i okupaemost' udobrenii v dlitel'nom stacionarnom opyte [The effect of mineral fertilizers and weather conditions on spring wheat productivity and the payback of fertilizers in a long-term stationary trial] // *Agrokhimiya*. 2021. № 7. S. 36–46. DOI: 10.31857/S0002188121070048
5. 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.
6. Kislov A.V., Glinushkin A.P., Kashcheev A.V. Agroekonomicheskie osnovy povysheniya ustoychivosti zemledeliya v stepnoi zone [Agroeconomic foundations for increasing agricultural sustainability in the steppe zone] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018. T. 32, № 7. S. 9–13. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10702
7. Melikhova N.P., Zinchenko E.V., Zibarov A.A., Tegesov D.A. Sovershenstvovanie struktury posevnykh ploshchadei i agrotekhnologii sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v sisteme spetsializirovannykh sevooborotov – nadezhnaya garantiya stabilizatsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva i plodorodiya pochvy [Improving the structure of sown areas and agricultural technologies of agricultural crops in a system of specialized crop rotations is a reliable guarantee of stabilization of agricultural production and soil fertility] // *Niva Povolzh'ya*. 2020. № 2(55). S. 16–21. DOI: 10.36461/NP.2020.2.55.003
8. Petrova L.I., Mitrofanov Yu. I., Gulyaev M.V., Pervushina N.K. Vliyanie udobrenii na agrokhimicheskie pokazateli plodorodiya pochvy i produktivnost' sevooborota [The effect of fertilizers on agrochemical indicators of soil fertility and crop rotation productivity] // *Plodorodie*. 2021. № 5(122). S. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2021.122.02
9. Semashkina A.I., Zazhivnova O.A., Solntseva O.V. Bioenergeticheskaya i ekonomicheskaya otsenka effektivnosti primeneniya mikroelementov tsinka i margantsa v tekhnologii vzdelyvaniya ozimoi pshenitsy [Bioenergy and economic estimation of the efficiency of the use of microelements of zinc and manganese in the cultivation technology of winter wheat] // *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2019. № 3(47). S. 48–53. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-48-53

10. Gurin A., Ignatova G., Stepanova E., Tarakin A., Velkova N. Assimilation surface and photosynthetic activity evaluation of winter wheat planting according to forecrops and mineral fertilizers // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 254, Article number 05001. DOI: 10.1051/e3sconf/202125405001

11. Janusauskaite, D. Leaf senescence of winter wheat and spring wheat as influenced by tillage and fertilization management // Acta physiologiae plantarum. 2022. Vol. 44(7), Article number 74. DOI: 10.1007/s11738-022-03399-2

12. Merzlaya G., Afanasyev R.A., Mukhina M., Mozharova I., Bereznov A., Astarkhanova T., Zargar M. Comparative efficiency of organic, mineral and organo-mineral fertilizer on soil properties and crops // Research on crops. 2021. Vol. 22, № 4. P. 841–848. DOI: 10.31830/2348-7542.2021.139

13. Monreal C.M., Derosa M., Mallubhotla S.C., Bindraban P.S., Dimkpa C. Nanotechnologies for increasing the crop use efficiency of fertilizer-micronutrients // Biology and Fertility of Soils. 2016. Vol. 52, № 3. P. 423–437. DOI: 10.1007/s00374-015-1073-5

14. Mukhametov A., Bekhorashvili N., Avdeenko A., Mikhaylov A. The impact of growing legume plants under conditions of biologization and soil cultivation on chernozem fertility and productivity of rotation crops // Legume Research. 2021. Vol. 44, № 10. P. 1219–1225. DOI: 10.18805/LR-573

15. Pederieva V., Wolters I., Esaulko A., Vlasova O. Wolters Economic efficiency of winter wheat cultivation according to traditional and zero technology // The European Proceedings of Social & Behavioural Sciences EpSBS. 2019. Vol. 76. P. 3330–3336. DOI: 10.15405/epsbs.2019.12.04.447

16. Soltanaeva A., Vassilina T., Suleimenov B., Saparov G., Vassilina T. Effect of sulfur-containing fertilizers on the chemical properties of soil and winter wheat yield // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2018. Vol. 24, № 4. P. 586–591.

Поступила: 18.08.23; доработана после рецензирования: 02.10.23; принята к публикации: 04.10.23.

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. Лукьянов В. А. – обоснование актуальности исследований, анализ данных, расчет энергетической эффективности, подготовка рукописи; Нитченко Л. Б. – подготовка и анализ данных, расчет экономической эффективности, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 633.11: 631.521.6:632.4 (470.61)

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-99-104

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ CUMMIT (ТУРЦИЯ) ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К РАСПРОСТРАНЕННЫМ БОЛЕЗНЯМ В ЮЖНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. В. Шишкин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297;
Т. Г. Дерова, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

В статье представлены материалы изучения коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы на устойчивость к листовым и головным болезням для использования в селекционных программах на иммунитет. Исследования проводили на базе ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021–2023 годах. Материалом исследований являлись 98 образцов коллекции CUMMIT (Турция). Объектами изучения были северокавказские популяции возбудителей листовых болезней: мучнистой росы, бурой и желтой ржавчины, септориоза и местные популяции возбудителей пыльной и твердой головни. Исследования проводили на полевых инфекционных фонах болезней с искусственным заражением растений соответственно методическим указаниям по каждой из них. Целью данной работы – выявление среди коллекции устойчивых образцов озимой пшеницы как к отдельным патогенам, так и к комплексу их. Восприимчивые тест-сорты озимой пшеницы имели максимальные оценки поражения по каждой изученной болезни. В ходе исследований были выделены образцы, устойчивые к мучнистой росе (19), бурой ржавчине (67), желтой ржавчине (63), септориозу (2), пыльной головне (95) и твердой головне (25). Выявлены образцы, проявляющие устойчивость или слабую восприимчивость к бурой и желтой ржавчине, мучнистой росе, септориозу: № 9855, 9859, 9883, 9884, 9894 и др. Не поразились пыльной и твердой головней 15 образцов: № 9802, 9812, 9898, 9899, 9903 и др. Наибольший интерес представляет ряд образцов, проявивших в течение трех лет комплексную устойчивость к листовым и головным болезням: № 9855, 9859, 9884, 9894, 9883, 9902 и т.д. Образец № 9859 проявил высокую устойчивость к пяти болезням. Лучшие по комплексной устойчивости образцы рекомендуются для селекционных программ на иммунитет.

Ключевые слова: озимая пшеница, образцы, болезни, инфекционный фон, устойчивость.

Для цитирования: Шишкин Н. В., Дерова Т. Г. Комплексная оценка коллекции CUMMIT (Турция) озимой мягкой пшеницы на устойчивость к распространенным болезням в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 99–104. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-99-104.



COMPREHENSIVE ESTIMATION OF THE COLLECTION CUMMIT (TURKEY) OF WINTER COMMON WHEAT FOR RESISTANCE TO COMMON DISEASES IN THE SOUTHERN PART OF THE ROSTOV REGION

N. V. Shishkin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, nik.shishkin.1961@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3863-0297;
T. G. Derova, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The current paper has presented the materials for studying collection samples of winter common wheat for resistance to leaf and smut diseases for use in breeding programs for immunity. The current study was carried out based on the FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy” in 2021–2023. The objects of the study were 98 samples from the collection CUMMIT (Turkey). The objects of study were the North Caucasian populations of pathogens of leaf diseases, such as powdery mildew, brown and yellow rust, septoria and local populations of pathogens of loose and kernel smut. The study was carried out on field infectious backgrounds of diseases with artificial infection of plants in accordance with the methodological instructions for each of them. The purpose of this work was to identify winter wheat samples resistant to both individual pathogens and their complex. Susceptible test varieties of winter wheat had maximum damage scores for each disease studied. During the study there have been identified 19 samples resistant to powdery mildew, 67 samples resistant to leaf rust, 63 samples resistant to yellow rust, 2 samples resistant to septoria, 95 samples resistant to loose smut and 25 samples resistant to kernel smut. There have been identified samples 9855, 9859, 9883, 9884, 9894 that showed resistance or weak susceptibility to brown and yellow rust, powdery mildew, septoria, etc. 15 samples 9802, 9812, 9898, 9899, 9903 were not affected by loose and kernel smut. A number of samples that have demonstrated complex resistance to smut diseases over three years were 9855, 9859, 9884, 9894,

9883, 9902, etc. The sample 9859 showed high resistance to five diseases. The best samples in terms of complex resistance could be recommended for breeding programs for immunity.

Keywords: winter wheat, samples, diseases, infectious background, resistance.

Введение. Одним из основных факторов, снижающих урожай и качество озимой пшеницы, является комплекс болезней, которые все больше распространяются вследствие нестабильности климатических условий, введения новых технологий поверхностных обработок почвы, распространение в посевах монокультур и др. (Конькова и др., 2022).

В современных стратегиях селекции озимой пшеницы против болезней используется создание и внедрение в производство устойчивых к ряду патогенов новых сортов (Марченко и др., 2020). В поиске источников исходного материала для создания таких сортов в изучение привлекаются как мировая коллекция ФИЦ ВГГР ВИР, так и коллекции зарубежных стран, которые содержат богатейшее разнообразие источников устойчивости к вредным организмам (Shi et al., 2018).

В результате многолетних наблюдений на посевах озимой пшеницы в Ростовской области наблюдается распространение листовых (бурая и желтая ржавчины, септориоз, мучнистая роса) и головневых (пыльная и твердая) болезней.

Листовые болезни пшеницы способствуют нарушению процесса фотосинтеза в растениях, уменьшают ассимиляционную поверхность листьев, что вызывает недоразвитость колосьев и снижение качества зерна и продукции из него (Singh, 2015, Liu Yuan et al., 2021).

Твердая и пыльная головня приводят к заметным потерям урожая и порче товарного качества зерна. В связи с использованием эффективных протравителей они менее распространены в посевах, но могут увеличиваться в хозяйствах, где не проводится предпосевное протравливание семян. Кроме того, устойчивые к головневым и другим болезням сорта необходимы в технологиях биологизированного и органического земледелия для производства экологически чистой продукции (ФЗ РФ № 280, 2018).

Создание устойчивых и толерантных к комплексу болезней сортов озимой пшеницы – это эффективный, экономичный, экологически чистый подход к решению фитопатологических задач при создании сортов и их внедрении в производство. Ведущая роль в выполнении этих задач принадлежит селекции, успех которой зависит от правильного подбора хорошо изученных устойчивых родительских форм для гибридизации, ежегодной оценки исходного и селекционного материала в условиях инфекционных фонов болезней. В связи с этим целью исследования являлось выявить надежные источники устойчивости к болезням среди образцов озимой пшеницы из Международного селекционного центра CUMMIT (Турция) в полевых условиях при искусственном заражении растений патогенами в южной зоне Ростовской области.

Материалы и методы исследования. Полевые исследования проводили на инфекционном участке опытного поля лаборатории иммунитета и защиты растений в ФГБНУ «АНЦ «Донской». Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Содержание гумуса в пахотном слое – 3,36 %, рН – 7,0; P₂O₅ – 24,4; K₂O – 360 мг/кг почвы. Севооборот двухпольный: пар – озимая пшеница.

Материалом изучения служили 98 образцов из коллекции CUMMIT (Турция). Объектами исследований были северокавказские популяции листовых болезней: бурой ржавчины (*Puccinia recondita* Roberge), желтой ржавчины (*Puccinia striiformis* Westend), мучнистой росы (*Blumeria graminis* D.C.f. sp. *Triticum* Marchal), септориоза (*Zymoseptoria tritici* Roberge ex Desm и *Septoria nodorum* Berk) и местные популяции головневых – пыльной (*Ustilago tritici* (Pers.) Rostr) и твердой (*Tilletia caries* (DC) Tull).

Посев коллекционных образцов озимой пшеницы проводили ручными сажалками на 1- и 2-рядковых делянках длиной 1 пог. м в оптимальные для региона сроки посева. В питомнике твердой головни посев образцов заспоренными возбудителем семенами производили в конце оптимальных сроков.

Создание инфекционных фонов по видам ржавчины и мучнистой росе проводили по методике Т.Г. Деровой (1987). Заражение спорами и учет септориоза выполняли согласно методике М.В. Васецкой (1987).

Учет видов ржавчины проводили по шкале R.F. Peterson с соавторами (Койшыбаев и др., 2017). Учеты развития болезней листьев пшеницы – в динамике (2–3 раза за вегетационный период), начиная с фазы выхода в трубку растений до молочно-восковой спелости.

Искусственное заражение пшеницы головневыми болезнями выполняли по методике В.И. Кривченко и А.П. Хохлова (2008). Учет поражения образцов коллекции видами головни проводили по количеству больших колосьев: пыльной в фазу колошения, твердой в фазу полной спелости растений. Процент поражения рассчитывали делением числа пораженных колосьев на их общее количество на делянке.

В качестве восприимчивых тест-сортов в питомниках высевали сорта озимой пшеницы: к бурой ржавчине – Тарасовская 29; к мучнистой росе – Морозко, желтой ржавчине – Донская лира, септориозу – Континент; к пыльной головне – Иришка, Волгоградская 23; к твердой головне – Безостая 1, Есаул. В каждом питомнике восприимчивые к изучаемым патогенам сорта высевали через каждые 20 образцов. Обсеив питомников восприимчивыми сортами производили сеялкой СН-16. В период

вегетации проводили химические прополки от сорных растений и обработки посевов инсектицидами против вредителей.

Метеорологические условия при проведении опытов в 2020–2021 с/х г. в осенний период характеризовались засушливым режимом. Посев делянок производили в почву с недостаточным увлажнением, и всходы были растянутыми во времени, что способствовало хорошему заражению растений твердой головней. Весной количество осадков в марте (83,2 мм), в апреле (95,7 мм), мае (65,0 мм), июне (103,9 мм) превышало среднеголетние показатели: 37,0; 42,7; 51,3; и 71,3 мм соответственно. На посевах озимой пшеницы создались благоприятные условия для развития на растениях листовых болезней и для заражения в середине мая образцов пыльной головней во время цветения пшеницы.

Засушливые условия осени 2021 г., создавшиеся вследствие недобора осадков в сентябре и октябре, задерживали всходы озимой пшеницы. Выпадение повышенной нормы осадков в ноябре (42,1 мм) и двойной нормы в декабре (125,1 мм) способствовали дальнейшему развитию и кущению растений, но в замедленном режиме, так как температурный режим был ниже. Такие условия способствовали внедрению в проростки инфекционного начала твердой головни. В дальнейшем теплая зима с обилием осадков положительно повлияла на перезимовку пшеницы и появление на листьях болезней.

Дождливая погода в апреле ускорила развитие на пшенице листовых заболеваний, а метеорологические условия мая и июня после заражения образцов коллекции видами болезней также способствовали развитию патогенов в питомниках.

Хорошая влагообеспеченность почвы к началу сева и в последующие месяцы осени 2022 г. (выпадение количества осадков больше или на уровне средних многолетних показателей) явилась благоприятным условием для получения равномерных и дружных всходов во всех опытных питомниках. Создались хорошие условия для начального развития твердой головни и накопления на растениях осеннего запаса листовых болезней. В декабре 2022 г. и январе 2023 г. отмечался существенный недостаток влаги – 15–28 % от многолетней нормы. Избыток влаги и соответственно высокая влажность воздуха в весенние месяцы (март – 144 %, апрель – 170 %, май – 188 % от нормы осадков) способствовали хорошему развитию листовых болезней на озимой пшенице, что и наблюдалось в наших опытах.

Классификацию образцов по типам устойчивости к конкретной изучаемой болезни осуществляли по литературным сведениям применительно к каждому патогену (табл. 1).

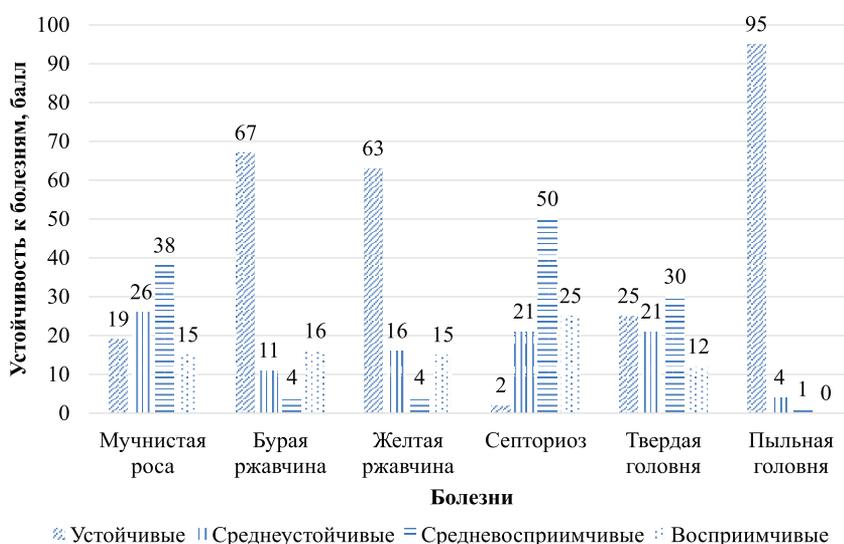
Таким образом, используя искусственные фоны заражения коллекционного материала, мы ежегодно получали достоверные результаты оценок по устойчивости образцов к комплексу болезней

Таблица 1. Шкалы оценок сортов озимой пшеницы по устойчивости к болезням
Table 1. Scales of marks for winter wheat varieties according to their disease resistance

Болезни	Устойчивые	Среднеустойчивые	Средневосприимчивые	Восприимчивые
Мучнистая роса, балл	01–1,5	1,5–2	2–2,5	2,5–3
Бурая и желтая ржавчина, %	0–15	15–30	30–40	50–100
Септориоз, %	15–20	20–30	30–50	50–100
Твердая головня, %	0–10	10–25	25–50	50–100
Пыльная головня, %	0–5	6–10	11–30	30 и выше

Результаты и их обсуждение. Полученные данные по оценке коллекционных образцов

озимой пшеницы позволили ранжировать их относительно типов устойчивости (см. рис.).



Распределение образцов коллекции по типам устойчивости к болезням (2021–2023 гг.)
Distribution of collection samples according to the type of disease resistance (2021–2023)

По данным рисунка среди листовых болезней большое количество устойчивых образцов выявлено к бурой и желтой ржавчине, среди головневых наибольшее количество устойчивых образцов к пыльной головне. Минимальное количество образцов коллекции проявили устойчивость к септориозу.

Не поразились мучнистой росой 19 образцов коллекции, оценки которых не превышало 1 балл: № 9855, 9859, 9884, 9894, 9947, 9952, 9954, 9963 и др. Одиннадцать сортов имели поражение на уровне восприимчивого тест-сорта – до 3 баллов. Остальную массу составляли среднеустойчивые и средневосприимчивые образцы.

К бурой ржавчине устойчивость проявили 67 образцов, или 68,4 % изученных. Устойчивость (поражение не выше 15 %) проявляли в течение трех лет изучения следующие образцы: № 9812, 9835, 9852, 9853, 9855, 9857, 9864, 9866, 9867 и др.

Две трети образцов, или 64,3%, коллекции были также устойчивы к желтой ржавчине. Высокая устойчивость по трехлетним данным присуща следующим образцам: № 9840, 9853, 9856, 9857, 9859, 9868, 9869, 9874, 9879, 9902, 9903, 9957, 9964 и др. На растениях этих сортов отмечались единичные пустулы возбудителя.

Устойчивых образцов к поражению септориозом не выявлено. Слабое поражение (не выше 20 %) в течение изученных лет отмечено у двух образцов: № 9856 и 9859. До 30 % поражения отмечалось на образцах № 9840, 9884, 9885, 9901, 9902, 9962, 9977. Остальные образцы были восприимчивы к септориозу в средней (40–50 %) – № 9804, 9852, 9860, 9881, 9945, 9948 и др. и сильной степени (свыше 50 %) – № 9801, 9869, 9890, 9899, 9900, 9951 и др.

При искусственном заспорении коллекционных семян местной популяцией твердой головни образцы коллекции разделились относительно равномерно по типам устойчивости: устойчивые (больных колосьев не более 10%) – 25 (25,5 %), среднеустойчивые (не более 25 %) – 21 (21,4 %), средневосприимчивые (не более 50 %) – 30 (30,6 %), восприимчивые

(более 50 %) – 22 (22,4 %). К иммунным отнесены образцы с отсутствием больных колосьев: № 9802, 9812, 9867, 9898, 9899, 9902, 9903, 9905, 9944, 9955, 9962, 9965, 9977.

В питомнике пыльной головни в условиях искусственного заражения местной популяцией возбудителя основная часть образцов проявила устойчивость к данному патогену. При поражении восприимчивого тест-сорта до 40 % лишь некоторые имели максимальное поражение: № 9977(3,5 %), 9880 (4,0 %), 9897 (4,1 %), 9884 (4,4 %), 9856 (5,6 %), 9879 (5,6 %), 9901 (9,2 %), 9873 (12,4 %). У остальных образцов процент больных колосьев или не превышал 1–2 % (2 1 образец) или составлял 0 % (69 образцов).

Основные потери озимой пшеницы связаны с поражением растений листовыми болезнями. Поэтому для создания современных высокоурожайных сортов необходимы доноры с комплексной устойчивостью к основным вредоносным патогенам в зоне возделывания культуры. Среди изученного коллекционного материала выделены образцы, проявляющие устойчивость к нескольким листовым болезням. Так, устойчивость одновременно к мучнистой росе, бурой и желтой ржавчине в период испытания проявили образцы № 9855, 9952, 9954, 9965.

Не имели поражения двумя видами ржавчины и слабо поразились септориозом (не выше 40 %) 10 образцов: № 9856, 9874, 9884, 9885, 9892, 9895, 9901, 9902, 9960, 9977. Устойчивость к двум видам ржавчины, мучнистой росе и слабую восприимчивость к септориозу наблюдали у образцов № 9859, 9883, 9894, 9962, 9963.

При искусственном заражении двумя видами головни не поразились 15 образцов: № 9802, 9812, 9898, 9899, 9903, 9905, 9944, 9965 и др. Наибольший интерес для селекционных программ представляют образцы с комплексной устойчивостью к листовым и головневым болезням. По трехлетним данным ряд образцов проявили устойчивость к 4–5 болезням (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика коллекционных образцов, лучших по устойчивости к комплексу болезней (2021–2023 гг.)
Table 2. Characteristics of the best collection samples in terms of resistance to a complex of diseases (2021–2023)

Образец, №	Мучнистая роса, (балл)	Бурая ржавчина, %	Желтая ржавчина, %	Септориоз, %	Пыльная головня, %	Твердая головня, %
Тест-сорта	3	100	100	100	30–40	70–80
9855	1	сл	сл	30–40	0	8,5
9859	01	сл	сл	10–15	0	81,8
9884	1	сл	0-5	20–30	4,4	43,0
9894	1	сл	0-5	20–30	0	12,5
9883	1,5	сл	сл	20–30	0	3,9
9902	2	0,5	сл	20–30	0	0,7
9954	1	5-10	сл	30–40	1,0	20,2
9962	1,5	0,5	0	15–20	2,2	0
9965	1	сл	сл	30–40	0	0

В таблице приведены максимальные показатели по годам исследований. По сравнению с восприимчивыми тест-сортами представленные в таблице образцы стабильно проявляют устойчивость или слабую восприимчивость в условиях инфекционных фонов к изученным патогенам. Образец № 9859 устойчив к мучнистой росе, двум видам ржавчины, септориозу и пыльной головне, но восприимчив к твердой головне на уровне тест-сорта. Не поражаются мучнистой росой, видами ржавчины, двумя видами головни образцы № 9855, 9962, 9965. У образцов № 9884 и 9894 выявлена устойчивость к трем листовым болезням и пыльной головне. Невосприимчивостью к двум видам листовых и двум видам головневых болезней, а также слабой восприимчивостью к мучнистой росе и септориозу характеризовались образцы № 9883 и 9902.

Все образцы, проявившие устойчивость к комплексу изученных болезней в различных сочетаниях, могут достоверно расширить запас источников устойчивости озимой мягкой пшеницы для селекционных целей.

Выводы. В ходе исследований коллекции озимой мягкой пшеницы были выделены образцы, устойчивые к отдельным болезням: мучнистой росе (19), бурой ржавчине (67), желтой ржавчине (63), септориозу (2), пыльной головне (95) и твердой головне (25). Выделены образцы, характеризующиеся устойчивостью как к листовым, так и головневым болезням. Часть из них – № 9855, 9962, 9965, 9883, 9884, 9894, 9902 и др. проявляют устойчивость к 4–6 болезням в различных сочетаниях, которые могут быть использованы как родительские формы в селекционной практике на иммунитет.

Библиографические ссылки

1. Васецкая М. Н., Куликова Г. В., Борзинова Т. И. Методические указания по оценке устойчивости сортообразцов пшеницы к возбудителям септориоза. М., 1987. 24 с.
2. Койшыбаев М., Канафин Б. К., Федоренко Е. Н., Гоц А. Ю., Литовченко Ж. И. Источники устойчивости яровой пшеницы к видам ржавчины и септориоза в Северном Казахстане // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. Ч. 3. № 12 (66). С. 117–122. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.098
3. Конькова Э. А., Лящева С. В., Сергеева А. И. Скрининг мировой коллекции озимой мягкой пшеницы к листовым болезням в условиях Нижнего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 2. С. 36–40. DOI: 10/31367/2079-8725-2022-80-2-36-40
4. Кривченко В. И., Хохлова А. П. Головневые болезни зерновых культур // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: Методическое пособие / под ред. Е. Е. Радченко. М., 2008. 433 с.
5. Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Некрасов Е. И., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю. Итоги селекционной работы по озимой мягкой пшенице для непаровых предшественников в Аграрном научном центре «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6(72). С. 3–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-3-9
6. Федеральный закон от 03.08.2018 № 280 «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43456> (дата обращения 20.07.23).
7. Патент № 1367922. Способ определения устойчивости сортов озимой пшеницы к инфекционным заболеваниям. / Дерова Т. Г.; заявл. 29.04.1984; опубл. от 23.01.1988.
8. Yuan L. I. U., Gebrewahid T. W., Zhang P. P., Li Z. F., Liu D. Q. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries // Journal of Integrative Agriculture. 2021. Vol. 20(5). P. 1302–1313. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63371
9. Li J., Shi L., Wang X., Zhang N., Wei X., Zhang L., Liu D. Leaf rust resistance of 35 wheat cultivars (lines) // Journal of Plant Pathology & Microbiology, 2018. Vol. 9, Article number: 429. DOI: 10.4172/2157-7471.1000429
10. Singh, R. P. Breeding durable adult plant resistance to stem rust in spring wheat. Progress made in decade since the launch of the Borlaug Global Rust Initiative // BGRI Technical Workshop. Sydney, 2015. P. 3.

References

1. Vasetskaya M. N., Kulikova G. V., Borzinova T. I. Metodicheskie ukazaniya po otsenke ustoichivosti sortoobraztsov pshenitsy k vozbuditelyam septorioza [Guidelines for estimating the resistance of wheat varieties to septoria pathogens]. M., 1987. 24 s.
2. Koishybaev M., Kanafin B. K., Fedorenko E. N., Gots A. Yu., Litovchenko Zh. I. Istochniki ustoichivosti yarovoi pshenitsy k vidam rzhavchiny i septorioza v Severnom Kazakhstane [Sources of resistance of spring wheat to rust and Septoria species in Northern Kazakhstan] // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2017. Ch. 3. № 12 (66). S. 117–122. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.098
3. Kon'kova E. A., Lyashcheva S. V., Sergeeva A. I. Skrininng mirovoi kollektzii ozimoi myagkoi pshenitsy k listostebel'nym boleznyam v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [Screening of the world collection of winter bread wheat for leaf diseases in the conditions of the Lower Volga region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 2. S. 36–40. DOI: 10/31367/2079-8725-2022-80-2-36-40
4. Krivchenko V. I., Khokhlova A. P. Golovnevye bolezni zernovykh kul'tur / Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoichivosti k vrednym organizmam: metodicheskoe posobie [Smut diseases of grain crops / Study of genetic resources of grain crops for resistance to pests] / pod red. E. E. Radchenko. M., 2008. 433 s.
5. Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Rybas' I. A., Nekrasov E. I., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu. Yu. Itogi selektsionnoi raboty po ozimoi myagkoi pshenitse dlya neparovykh predshestvennikov v Agrarnom nauchnom tsentre «Donskoi» [Results of breeding work on winter bread wheat for non-fallow forecrops

at the Agricultural Research Center "Donskoy"] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 6(72). S. 3–9. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-3-9

6. Federal'nyi zakon ot 03.08. 2018 № 280, «Ob organicheskoi produktsii i o vnesenii izmenenii v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossiiskoi Federatsii» [Federal Law of August 3, 2018 №. 280 "On organic products and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation"] [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/43456> (data obrashcheniya 20.07.23).

7. Patent № 1367922 Sposob opredeleniya ustoichivosti sortov ozimoi pshenitsy k infektsionnym zabolevaniyam [Method for determining the resistance of winter wheat varieties to infectious diseases]. / Derova T. G.; zayavl. 29.04.1984; opubl. ot 23.01.1988.

8. Yuan L. I. U., Gebrewahid T. W., Zhang P. P., Li Z. F., Liu D. Q. Identification of leaf rust resistance genes in common wheat varieties from China and foreign countries // *Journal of Integrative Agriculture*. 2021. Vol. 20(5). P. 1302–1313. DOI: 10.1016/S2095-3119(20)63371

9. Li J., Shi L., Wang X., Zhang N., Wei X., Zhang L., Liu D. Leaf rust resistance of 35 wheat cultivars (lines) // *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 2018. Vol. 9, Article number: 429. DOI: 10.4172/2157-7471.1000429

10. Singh, R. P. Breeding durable adult plant resistance to stem rust in spring wheat. Progress made in decade since the launch of the Borlaug Global Rust Initiative // *BGRI Technical Workshop*. Sydney, 2015. P. 3.

Поступила: 07.09.23; доработана после рецензирования: 16.10.23; принята к публикации: 16.10.23.

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. Шишкин Н. В., Дерова Т. Г. – концептуализация и проектирование исследования, закладка опыта, фенологические наблюдения, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 632.954:633.15

DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-105-110

МЕТКИЙ, МД – НОВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ГЕРБИЦИД ДЛЯ БОРЬБЫ С СОРНЯКАМИ НА ПОСЕВАХ КУКУРУЗЫ

Х. Ш. Тарчоков, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией технологии возделывания полевых культур, ORCID ID: 0000-0002-6187-7354;

Д. А. Тутукова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0002-9682-9117;

О. Х. Матаева, младший научный сотрудник, ORCID ID: 0000-0003-3590-5734

Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 360004, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224

Изучена сравнительная эффективность (техническая и хозяйственно-экономическая) гербицидов отечественного и зарубежного производства в борьбе с сорняками на посевах кукурузы гибрида Карат СВ в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии. Цель исследований – определить эффективность применения гербицида отечественного производства Меткий, МД на кукурузе на зерно и влияние его на засоренность посева и величину урожая. Опыты проводили в НПО № 2, с.п. Опытное, КБР в 2019–2021 гг. на экспериментальном поле лаборатории технологии возделывания полевых культур Института сельского хозяйства КБНЦ РАН. Оценили эффективность препарата Меткий, МД в различных дозировках при внесении в фазе 5–6 листьев культуры 1,0 и 2,0 л/га, где через 28–30 дней после внесения гербицида погибло 82,0–88,0 % общей массы сорняков, в том числе гумая – 78,0–85,0 %. Эталонами служили различные дозировки гербицидов иностранного производства – Кельвин Плюс, ВДГ в дозе 0,3 и 0,4 кг/га и Милагро Плюс, МД по 1,0 и 1,2 л/га. На этих вариантах также отмечается высокая степень подавления общей массы сорняков (83,0–93,0 %), в том числе злостный корневищный многолетник гумай погибает на 82,0–89,0 %. К периоду уборки урожая зерна означенная закономерность не менялась. На хозяйственном контроле к данному периоду насчитывалось до 75,0 экземпляров и 800,0 г/м² сырой массы сорняков. На вариантах с применением Меткого, МД в испытываемых дозировках сырая масса сорняков составляла 80,0 г/м² против 90,5 г/м² на эталонных вариантах. Исследования подтвердили формирование высокой зерновой продуктивности кукурузы на фоне с применением отечественного препарата Меткий, МД, равной 81,3–82,3 т/га, против данных на фоне эталонных вариантов с применением различных доз гербицидов иностранного производства – 80,6–82,0 т/га.

Ключевые слова: гербициды, дозировка, варианты, зерновая продуктивность, гибриды кукурузы, гибель сорняков, гумай.

Для цитирования: Тарчоков Х. Ш., Тутукова Д. А., Матаева О. Х. Меткий, МД – новый отечественный гербицид для борьбы с сорняками на посевах кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 105–110. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-105-110.



A NEW DOMESTIC HERBICIDE FOR WEED CONTROL IN MAIZE CROPS 'METKIY, MD'

Kh. Sh. Tarchokov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory for cultivating field crops, ORCID ID: 0000-0002-6187-7354;

D. A. Tutukova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, ORCID ID: 0000-0002-9682-9117;

O. Kh. Mataeva, junior researcher, ORCID ID: 0000-0003-3590-5734

Institute of Agriculture, a branch of the FSBSI "Federal Research Center "Kabardino-Balkarky Research Center RAN",

360004, Kabardino-Balkarskyaya Republic, Nalchik, Kirov Str., 224; e-mail: kbniish2007@yandex.ru

There has been studied comparative efficiency (technical and economic) of domestic and foreign herbicides in controlling weeds in maize hybrid 'Karat SV' in the conditions of the steppe zone of Kabardino-Balkaria. The purpose of the current study was to determine the efficiency of using the domestically produced herbicide 'Metkiy, MD' on maize for grain and its effect on crop infestation and yield size. The trials were carried out at NPO No. 2, v. of Opytnoe, KBR in 2019–2021 on the experimental field of the laboratory for cultivating field crops at the Institute of Agriculture of the Kabardino-Balkarky Research Center RAN. There has been estimated the efficiency of the herbicide 'Metkiy, MD' in various dosages when applying 1.0 and 2.0 l/ha in the phase of 5–6 leaves of the crop, where 82.0–88.0 % of the total amount of weeds died 28–30 days after the application of the herbicide, including 78.0–85.0 % of Johnsongrass. The standards were various dosages of foreign herbicides 'Kelvin Plus', 'VDG' at a dose of 0.3 and 0.4 kg/ha and 'Milagro Plus, MD' at 1.0 and 1.2 l/ha. These options have also shown a high degree of suppression of the total amount of weeds (83.0–93.0 %), including 82.0–89.0 % of died malicious rhizomatous perennial Johnsongrass. By the period of grain harvesting, this pattern had no changes. During this period there were up to 75.0 specimens and 800.0 g/m² of wet weight of weeds. In the variants using 'Metky, MD' in the tested dosages, the wet weight of the weeds was 80.0 g/m² versus 90.5 g/m² in the reference variants. The study confirmed the formation of high grain productivity of maize against the background of using the domestic herbicide 'Metkiy, MD' equal to 81.3–82.3 t/ha against 80.6–82.0 t/ha at the background of reference options, with the use of various dosages of foreign herbicides.

Keywords: herbicides, dosage, options, grain productivity, maize hybrids, weed death, Johnsongrass.

Введение. Кукуруза – одна из самых высокоурожайных и универсальных культур в современной земледелии. Посевные площади кукурузы на зерно в нашей стране ежегодно возрастали и в настоящее время составляют 3,5–4,3 млн га (в том числе 2,2–2,7 млн га на зерно и 1,3–1,6 млн га на силос) при средней урожайности 57 ц/га (Савва и др., 2020). В связи с таким значением кукурузы в увеличении валового сбора зерна важно совершенствование ассортимента используемых для ее защиты гербицидов, в том числе изучение эффективности новых препаратов для защиты посевов кукурузы от сорных растений.

Современные технологии возделывания кукурузы предусматривают борьбу с сорняками как агротехническими, так и химическими методами. Гербициды эффективно уничтожают или подавляют сорную растительность на посевах. Кроме того, при применении гербицидов снижается и себестоимость производства зерна кукурузы за счет сокращения агротехнических приемов обработки и экономии горюче-смазочных материалов.

Одной из благоприятных зон для выращивания кукурузы является зона Центральной части Северного Кавказа, в том числе и Кабардино-Балкария, которая характеризуется своим видовым составом сорняков (сложный тип засоренности кукурузы). Однако известное разнообразие почвенно-климатических условий Кабардино-Балкарии способствует образованию неоднородности видового состава сорно-полевого сообщества, что создает необходимость дифференцированной борьбы с ними (Голубев и Берестецкий, 2021).

Ежегодно эту культуру возделывают на площади более 65,0–70,0 тыс. га. Это вызывает необходимость решения задач, связанных с агротехникой, экономической целесообразностью ее производства, поисками путей снижения энергозатрат и повышением рентабельности производства на основе увеличения урожайности. Успешное решение этой проблемы возможно при надежной защите посевов кукурузы от сорняков (Мингалев, 2017; Фетюхин, 2021; Golubev, 2022).

Целью исследований являлось определение эффективности применения гербицида отечественного производства Меткий, МД на кукурузе на зерно и влияние его на засоренность посева и величину урожая.

Поэтому в нашей работе по данной проблеме преследовалась цель – определение хозяйственно-технической эффективности использования гербицида отечественного производства Меткий, МД в борьбе с сорняками на посевах кукурузы на зерно в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии.

Во всех агроэкосистемах на различных этапах производства сельхозпродукции с культурными растениями теснейшим образом взаимодействуют многие виды организмов, в том числе и сорные растения (Иванченко и Шевяхова, 2022). В этой связи следует отме-

тить, что в южном регионе России на посевах пропашных культур, и кукурузы в их числе, особой вредоносностью обладает гумай – злостный корневищный многолетник, снижающий урожайность зерна при средней засоренности посевов до 75–80 % (Tarchokov et al., 2021; Кузнецова и Багринцева, 2021).

Ранее проведенными исследованиями в лаборатории технологии возделывания полевых культур ИСХ КБНЦ РАН доказано, что в наибольшей степени от засоренности посевов многолетними (гумай, виды осотов) сорняками страдают посевы родительских форм кукурузы, обладающие низкой конкурентоспособностью в борьбе за элементы питания и свет. Это означает, что сельхозтоваропроизводители республики строили свою программу производства кукурузной продукции в условиях сложного типа засоренности посевов культуры, где особое внимание уделялось проблеме снижения (исключения) вредоносности многолетних – гумая, видов осотов, свинороя пальчатого, пырея ползучего и др.

Следует отметить, что в течение многих лет в технологиях возделывания кукурузы с большим успехом применялись гербициды иностранного (в основном фирмы Де-Немур, США) производства: Титус, Базис, Каллисто, Миллагро и др. Однако в последнее время известные санкции, применяемые к Российской Федерации иностранными компаниями, стали серьезной преградой для дальнейшего их использования в агротехнологиях возделывания кукурузы.

Материалы и методы исследований. Почва опытного участка обыкновенный (карбонатный) чернозем тяжелого гранулометрического состава. В пахотном (0–20 см) слое содержалось: гумуса – 3,0–3,5; P_2O_5 – (по Мачигину) 0,14–0,27; K_2O (по Мачигину) – 2,0–2,6 %; pH – 6,8–7,0 единиц. Среднее годовое количество осадков 380–450 мм.

В качестве объектов исследований применяли страховые гербициды в различных дозировках. Это Меткий, МД (масляная дисперсия), двухкомпонентный препарат отечественного производства (ООО «Листерра», содержащий мезотриона 75,0 г/л + 30,0 г/л никосульфурона). Запрещено применение препарата в водоохранной зоне водных объектов, мало опасен для пчел (3-й класс опасности). Эталоном служили варианты с применением гербицидов импортного производства: Кельвин Плюс, ВДГ трехкомпонентный препарат (424+170+106 г/кг), состоящий из дикамбы – натриевая соль + дифлуфензопир + никосульфурон в дозировках 0,3 и 0,4 кг/га фирмы БАСФ Корпорейшн, Милагро Плюс, МД – двухкомпонентный гербицид (дикамба + никосульфурон – 220,0 + 50,0 г/л) в дозе 1,0 и 1,2 л/га.

Подсчеты засоренности посевов кукурузы выявили более 27 видов сорняков, относящихся к различным ботаническим семействам (видам). В отдельные годы доминировали злостные многолетники – гумай (*Sorghum halepense* Pers.),

виды осотов – розовый (*Wirsium arvense* Z.) и желтый (*Sonchus arvensis* Z.), вьюнок полевой (*Conchus arvensis* Z.), свиной пальчатый (*Cynodon dactylon* Z.). В орошаемом земледелии республик Северо-Кавказского Федерального округа эта группа сорняков наиболее вредоносна на посевах пропашных культур, в том числе и кукурузы, снижая продуктивность возделываемых культур более чем на 70,0–75,0 % (Тарчоков и др., 2021).

Из группы малолетних (злаковых и двудольных) сорняков преобладали такие виды, как амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisia folia* Z.), дымянка лекарственная

(*Fumaria officinalis* Z.), лисохвост полевой (*Alopecurus aqrestis* Z.), марь белая (*Chenopodium album* Z.), портулак огородный (*Portulaca oleracea* Z.), просо куриное (*Echinochloa crus-galli* Z.), виды щетинников – сизый (*Setaria glauca* P.B.) и зеленый (*Setaria virioles* P. B.).

Удобрения – фосфор и калий, вносили в дозе $P_{90}K_{60}$ под основную обработку почвы, азот – половину (N_{30}) вносили одновременно с посевом, вторую – со второй междурядной обработкой посевов кукурузы.

В годы проведения исследований погодные условия несколько отличались от среднесезонных показателей (табл. 1).

Таблица 1. Метеорологические показатели за годы проведения исследований (по данным агрометеорологического поста «Куюн», пос. Опытный Терского р-на КБР)
Table 1. Meteorological parameters for the years of study (according to the agrometeorological point 'Kuyan', v. of Opytnoe, Tersky district of the Kabardino-Balkarian Republic)

Год	Осадки, мм	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %
2019	395,6	12,7	72,0
2020	417,7	12,1	87,0
2021	613,5	12,9	73,6
Среднесезонные данные (норма)	471,0	10,4	76,9

Так, количество осадков, выпавших в 2021 г., превышало среднесезонные данные на 142,5 мм, средняя температура воздуха также была выше в эти годы на 2,3–2,5 °С. Относительная влажность воздуха в годы проведения опытов составляла 72,0–87,0 % против среднесезонных 76,9 %.

Площади делянок составляли: общая – 150 м², учетная – 80 м². Варианты в опыте располагались систематическим методом в два яруса (Доспехов, 2014).

Схема опыта состояла из следующих вариантов.

1. Контроль – 1, хозяйственный с проведением двух рыхлений междурядий.

2. Контроль – 2, без сорняков, которые удалялись вручную по мере их очередного появления на делянках в течение вегетации.

3. Меткий, МД в дозе 1,0 л/га методом опрыскивания культуры и сорняков в фазе 5–6 листьев кукурузы.

4. Меткий, МД в дозе 2,0 л/га.

В качестве эталонов испытывались гербициды иностранного производства.

5. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,3 кг/га;

6. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,4 кг/га

7. Милагро Плюс, МД – 1,0 л/га;

8. Милагро Плюс, МД – 1,2 л/га.

Обозначенные дозировки гербицидов вносили с расходом рабочего раствора в 250–300 л/га ранцевым опрыскивателем «Автомат-10».

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных исследований была определена эффективность использования различных дозировок отечественного гербицида Меткий, МД на посевах нового гибрида кукурузы селекции ИСХ КБНЦ РАН Карат СВ (табл. 2).

Таблица 2. Влияние гербицида Меткий, МД на засоренность посевов кукурузы в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии, 2019–2021 гг. (кол-во сорняков на 1 м²)
Table 2. Effect of the herbicide 'Metkiy, MD' on the weediness of maize crops in the steppe zone of Kabardino-Balkaria, 2019–2021 (number of weeds per 1 m²)

Варианты	Перед внесением гербицидов, шт.		Спустя 28–30 дней после химобработки	
	всего	в том числе гумая	всего	в том числе гумая
1. Контроль – 1 (хозяйственный)	280	75	350*	93*
			+25	+24
2. Контроль – 2 (без сорняков)	–	–	–	–
			–	–
3. Меткий, МД – 1,0 л/га	290	80	53	17
			-82	-78
4. Меткий, МД – 2,0 л/га	300	76	35	11
			-88	-85
5. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,3 кг/га	260	55	43	10
			-83	-82
6. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,4 кг/га	270	63	27	9
			-90	-85
7. Милагро Плюс, МД – 1,0 л/га	280	70	35	8
			-87	-88
8. Милагро Плюс, МД – 1,2 л/га	250	49	18	5
			-93	-89

Примечание. * – изменение уровня засоренности посевов – числитель – в шт., знаменатель – в %.

Как видно из этих данных, общая засоренность посевов кукурузы в фазе 5–6 листьев (перед внесением гербицидов) составила 250,0–300,0 экземпляров, гумая – до 49,0–80,0 шт./м². Спустя 28–30 дней после химобработки на хозяйственном контроле отмечено повышение количества (общего) сорных растений, которое достигло 350,0 шт./м², гумая – до 93,0 растений/м², против их количества 280,0 и 75,0 соответственно перед внесением дозировок гербицида.

Проведенными учетами установлено, что на фоне применения 1,0 л/га препарата российского производства Меткий, МД сорные растения на посевах кукурузы (спустя 28–30 дней после его внесения) погибают на 82,0 % по общей численности и на 78,0 % – по гумая. Обработка посевов двойной (2,0 л/га)

дозой данного препарата сопровождается повышением его технической эффективности с удалением до 88,0 % всех сорных растений и до 85,0 % гумая.

На вариантах с применением эталонных дозировок гербицидов (Кельвин Плюс, ВДГ и Милагро Плюс, МД) иностранного производства уровень подавления общего количества сорняков к рассматриваемому периоду составляет 83,0–93,0 %, в том числе гумая – 82,0–89,0 %. Эти данные не превышают результатов, отмеченных на фоне использования дозировок отечественного препарата Меткого, МД с нормами внесения 1,0 и 2,0 л/га.

К периоду созревания кукурузы техническая эффективность гербицида Меткий, МД в испытанных в опыте дозах не снижалась (табл. 3).

Таблица 3. Влияние гербицида Меткий, МД на засоренность посевов перед уборкой урожая зерна (2019–2021 гг.)
Table 3. Effect of the herbicide 'Metkiy, MD' on weediness of maize crops before grain harvesting (2019–2021)

Варианты	Снижение в % к контролю – 1:	
	общего количества сорняков, шт./м ²	сырая надземная масса сорняков, г/м ²
1. Контроль – 1 (хозяйственный)	75	800
2. Контроль – 2 (без сорняков)	100	100
3. Меткий, МД – 1,0 л/га	82	72
4. Меткий, МД – 2,0 л/га	93	88
5. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,3 кг/га	90	89
6. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,4 кг/га	95	90
7. Милагро Плюс, МД – 1,0 л/га	89	88
8. Милагро Плюс, МД – 1,2 л/га	92	93

Так, на варианте с хозяйственным контролем к данному времени общее количество сорных растений составило 75,0 шт. и 800,0 г/м² сырой надземной массы. На вариантах с внесением по всходам культуры и сорняков препарата Меткого, МД в различных дозировках (1,0 и 2,0 л/га) общее количество сорных растений погибает на 82,0–93,0 %. Незначительное их количество находилось в угнетенном состоянии и вес надземной сырой массы не превышал 28,0–12,0 г/м². Такая же закономерность

наблюдалась и на вариантах с использованием гербицидов иностранного производства в качестве эталонных препаратов.

При этом нельзя сбрасывать со счетов чувствительность самого гибрида кукурузы, на посевах которого применяются гербициды. В нашем опыте подобная реакция гибрида кукурузы Карат СВ определялась методом сравнения урожайности зерна по разным видам гербицидов и их дозировкам (табл. 4).

Таблица 4. Урожайность зерна кукурузы в зависимости от применения различных дозировок гербицидов повсходового действия (в т/га St влажности)
Table 4. Maize grain productivity depending on the use of various dosages of emergence herbicides (in t/ha St moisture content)

Варианты	2019	2020	2021	Среднее за 2019–2021 гг.
1. Контроль – 1 (хозяйственный)	6,7	6,9	7,3	7,0
2. Контроль – 2 (без сорняков)	8,2	8,3	8,5	8,3
3. Меткий, МД – 1,0 л/га	8,2	8,1	8,3	8,2
4. Меткий, МД – 2,0 л/га	8,1	8,2	8,4	8,2
5. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,3 кг/га	8,0	8,1	8,3	8,1
6. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,4 кг/га	8,0	8,0	8,2	8,1
7. Милагро Плюс, МД – 1,0 л/га	8,1	8,2	8,3	8,2
8. Милагро Плюс, МД – 1,2 л/га	8,0	8,0	8,2	8,1
НСР ₀₅	0,1	0,12	0,13	

Учеты урожайности зерна показали, что в среднем за три года изучения зерновая продуктивность кукурузы была наименьшей (7,0 т/га) на хозяйственном контроле. Периодическое удаление сорняков в течение вегетационного периода методом ручной прополки сохраняло от потерь по сравнению с контролем – 1 более 1,3 т/га. На гербицидных фонах эта разница составляла 1,1–1,2 т/га сухо-го зерна.

Как видно из представленных данных, применение гербицидов повсходового действия

на посевах гибрида кукурузы Карат СВ вполне заменяет ручное удаление сорняков без ущерба для культуры.

Экономическая оценка агроприемов возделывания кукурузы выполнена в ценах на зерно, удобрения, гербициды и другие материально-технические средства, сложившиеся на начало 2019 года. Анализ эффективности возделывания кукурузы на зерно, выращенного на вариантах с различными приемами ухода, представлен в таблице 5.

Таблица 5. Экономическая эффективность применения гербицида повсходового действия Меткий, МД на посевах кукурузы (в среднем за 2019–2021 гг.)
Table 5. Economic efficiency of using the emergence herbicide 'Metkiy, MD' on maize crops (mean in 2019–2021)

Варианты	Урожайность, т/га	Стоимость продукции, руб./га	Производственные затраты, руб./га	Чистый доход, руб./га	Рентабельность, %
1. Меткий, МД – 1,0 л/га	8,2	82000	35000	47000	134,2
2. Меткий, МД – 2,0 л/га	8,2	82000	35800	46200	129,0
3. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,3 кг/га	8,1	81000	35000	46000	131,4
4. Кельвин Плюс, ВДГ – 0,4 кг/га	8,1	81000	35800	45200	126,3
5. Милагро Плюс, МД – 1,0 л/га	8,2	82000	39000	43000	110,2
6. Милагро Плюс, МД – 1,2 л/га	8,1	81000	41000	40000	97,0

Примечание. Рыночная стоимость зерна кукурузы на 01.01.19 г. – 10,0 руб./кг.

Так, выручка от реализации продукции на фоне применения препарата Меткий, МД в дозировках 1,0 и 2,0 л/га составила в сумме 82,0 тыс. руб./га. Это дало возможность формирования при незначительных затратах чистого дохода в сумме 46,2–47,0 тыс. руб./га с уровнем рентабельности 129,0–134,2 %. Затраты же, связанные с применением и внесением дозирровок Кельвина Плюс, ВДГ, несколько выше, и сумма чистого дохода не превышала 45,2–46,0 тыс. руб./га с уровнем рентабельности в пределах 126,3–131,4 %. На вариантах с применением Милагро Плюс, МД в дозировках 1,0 и 1,2 л/га в борьбе с сорняками на посевах кукурузы показатели чистого дохода (40,0–43,0 тыс. руб./га) и уровень рентабельности (97,0–110,2 %) были наименьшими.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. На предкавказских (карбонатных) черноземах в условиях степной зоны Кабардино-

Балкарии снятие засоренности посевов гибрида кукурузы Карат СВ вполне возможно с помощью использования дозирровок гербицида отечественного производства Меткий, МД.

2. Оптимальной дозой применения гербицида Меткий, МД в борьбе с сорняками на посевах гибрида Карат СВ следует считать 1,0 л/га препарата.

3. Применение гербицида отечественного производства Меткий, МД в условиях сложного типа засоренности посевов кукурузы гибрида Карат СВ вместо препаратов иностранного производства является высокорентабельным импортозаменяемым агроприемом в условиях орошения степной зоны Кабардино-Балкарии.

4. Использование отечественного гербицида Меткий, МД в дозировке, не превышающей 1,0 л/га, в борьбе с сорняками на посевах кукурузы на зерно обеспечивает формирование наибольшей величины чистого дохода (47,0 тыс. руб./га) с уровнем рентабельности 134,2 %.

Библиографические ссылки

1. Голубев А. С., Берестецкий А. О. Перспективные направления использования биологических и биорациональных гербицидов в растениеводстве России // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. С. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.868rus
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 2014. 351 с.
3. Иванченко Т. В., Шевяхова Е. А. Приемы защиты яровой пшеницы в засушливых условиях Нижнего Поволжья Российской Федерации // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. Т. 14, № 6. С. 356–371. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371
4. Кузнецова С. В., Багринцева В. Н. Отечественные гербициды для защиты кукурузы от сорняков // Земледелие. 2021. № 4. С. 44–46. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10411
5. Мингалев С. К. Снижение засоренности посевов кукурузы и ее урожайность // Аграрный вестник Урала. 2017. № 5(159). С. 39–43.

6. Савва А.П., Есипенко Л.П., Тележенко Т.Н., Суворова В.А. Новый комбинированный гербицид корнеги для защиты посевов кукурузы // Вестник КрасГАУ. 2020. № 10(163). С. 40–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-34-41
7. Тарчоков Х.Ш., Бжинаев Ф.Х., Чочаев М.М. Технология возделывания новых гибридов кукурузы в степной зоне Кабардино-Балкарии // Рациональное землепользование: оптимизация земледелия и растениеводства: материалы V Международной науч.-практ. конф. Курск, 2021. С. 243–250.
8. Фетюхин И.В. Совершенствование методов борьбы с сорняками в посевах кукурузы на орошении // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 170 (06). С. 265–272.
9. Golubev A.S. Directions for improvement of the herbicide assortment in russia at the beginning of the 21st century // Plant Protection News. 2022. Vol. 105(3), P. 104–113. DOI: 10.31993/2308-6459-2022-105-15392
10. Tarchokov Kh., Chochaev M., Tutukova J. Impact of main tillage methods on weed infestation of crops in the winter maize, wheat, dried peas rotation // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262, Article number: 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201014

References

1. Golubev A.S., Berestetskii A.O. Perspektivnye napravleniya ispol'zovaniya biologicheskikh i bioratsional'nykh gerbitsidov v rastenievodstve Rossii [Promising directions for the use of biological and biorational herbicides in Russian grain crop production] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2021. T. 56. S. 868–884. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.868rus
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., dop. i pererab. M.: Agropromizdat, 2014. 351s.
3. Ivanchenko T.V., Shevyakhova E.A. Priemy zashchity yarovoi pshenitsy v zasushliviye usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya Rossiiskoi Federatsii [Techniques for protecting spring wheat in arid conditions of the Lower Volga region of the Russian Federation] // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. T. 14, № 6. S. 356–371. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-6-356-371
4. Kuznetsova S.V., Bagrintseva V.N. Otechestvennye gerbitsidy dlya zashchity kukuruzy ot sornyakov [Domestic herbicides to protect maize from weeds] // Zemledelie. 2021. № 4. S. 44–46. DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10411
5. Mingalev S.K. Snizhenie zasorennosti posevov kukuruzy i ee urozhainost' [Reducing the weediness of maize crops and its productivity] // Agrarnyi vestnik Urala. 2017. № 5(159). S. 39–43.
6. Savva A.P., Esipenko L.P., Telezhenko T.N., Suvorova V.A. Novyi kombinirovannyi gerbitsid kornegi dlya zashchity posevov kukuruzy [New combined herbicide korneghi for the protection of maize crops] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 10 (163). S. 40–41. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-10-34-41
7. Tarchokov Kh. Sh., Bzhinaev F. Kh., Chochaev M. M. Tekhnologiya vzdelyvaniya novykh gibridov kukuruzy v stepnoi zone Kabardino-Balkarii [Technology for cultivating new maize hybrids in the steppe zone of Kabardino-Balkaria] // Ratsional'noe zemlepol'zovanie: optimizatsiya zemledeliya i rastenievodstva: materialy V Mezhdunarodnoi nauch.-prakt. konf. Kursk, 2021. S. 243–250.
8. Fetyukhin I. V. Sovershenstvovanie metodov bor'by s sornyakami v posevakh kukuruzy na oroshenii [Improving methods of weed control in irrigated maize crops: electronic scientific journal] // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta 2021. № 170(06). S. 265–272.
9. Golubev A.S. Directions for improvement of the herbicide assortment in russia at the beginning of the 21st century // Plant Protection News. 2022. Vol. 105(3), P. 104–113. DOI: 10.31993/2308-6459-2022-105-15392
10. Tarchokov Kh., Chochaev M., Tutukova J. Impact of main tillage methods on weed infestation of crops in the winter maize, wheat, dried peas rotation // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262, Article number: 01014. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201014

Поступила: 21.09.23; доработана после рецензирования: 27.11.23; принята к публикации: 27.11.23.

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. Тарчоков Х.Ш. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и их интерпретация; Тутукова Д.А. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Матаева О.Х. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.