
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

Т. 16, № 3. 2024 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 УрФАНЦ УрО РАН (Екатеринбург, Россия);
Клыков А. Г. – академик РАН, д-р биол. наук, проф. РАН,
ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки» (Уссурийск, Россия);
Костылев П. И. – д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Лобачевский Я. П. – академик РАН, д-р техн. наук, проф. РАН (Москва, Россия);
Лукомец В. М. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФНЦ «ВНИИМК» (Краснодар, Россия);
Медведев А. М. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Пахомов В. И. – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, доцент, ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Сандухадзе Б. И. – академик РАН, д-р с.-х. наук, проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В. С. – академик РАН, д-р с.-х. наук, ООО «СП ССК «Кукуруза» (Пятигорск, Россия);
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. Агрономия, лесное и водное хозяйство). Журнал входит в базу данных
Russian Science Citation Index на платформе Web of Science (ядро РИНЦ). Журнал входит в международную базу данных DOAJ.

Перевод на английский язык – Скуйбеда О. Н.

Адрес 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 27.06.2024

Дата выхода 28.06.2024. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ №

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

THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL
GRAIN ECONOMY OF RUSSIA
Vol. 16, № 3. 2024

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. Pustovoi 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 27.06.2024

The date of the issue is 28.06.2024. Format 60x84/8. Circulation 300. Order No.

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

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А. История селекции и семеноводства сорго в АНЦ «Донской»	5
Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Кравченко Н. С. Урожайность, качество зерна и сбор белка образцов гороха посевного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»	12
Жильцов А. В., Чекалин А. А., Попова О. В., Дуванов И. В., Мирошниченко Д. Н. Перспективы сочетания методов гаплоидной биотехнологии и редактирования геномов для совершенствования колосовых злаков семейства <i>Triticeae</i> (обзор)	18
Давлетов Ф. А., Гайнуллина К. П., Мустафин И. Г., Юлдыбаев И. Р. Результаты изучения сортов яровой вики (<i>Vicia sativa</i> L.) в условиях Республики Башкортостан	27
Киринов А. В., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Зеленская Г. М. Формирование урожайности и элементов структуры сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох в условиях ФГБНУ «АНЦ «Донской»	33
Горюнов К. Н., Регидин А. А., Игнатьев С. А. Влияние некоторых морфологических признаков коллекционных образцов люцерны на урожайность за трехлетний цикл выращивания	40
Газе В. Л., Лобунская И. А., Яновская Н. В., Черпакова Е. Ю., Ашиев А. Р. Влияние анатомического строения стебля на полегаемость гороха	47
Торбина И. В. Адаптивность сортов мягкой озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании в Удмуртской Республике	53
Хлыстунов В. Ф., Донцова А. А., Донцов Д. П. Результаты оценки перспективных сортов и линий озимого ячменя	60
Костылев П. И., Краснова Е. В., Дубина Е. В. Наследование содержания липидов в зерне риса (обзор)	68

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Бутковская Л. К., Мудрова В. Е., Поляков А. О. Биоэнергетическая оценка возделывания сортов ярового ячменя и овса в зависимости от норм высева семян в условиях Красноярской лесостепи	78
Дудкина Т. А., Свиридов В. И. Повышение устойчивости зерновой продуктивности свекловичных севооборотов в лесостепи Центрального Черноземья	85
Тарчоков Х. Ш., Матаева О. Х., Бжинаев Ф. Х., Бербекоева Н. В. Влияние сроков посева на продуктивность новых гибридов кукурузы	94

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Иванисов М. М., Кононенко О. С. Поиск источников устойчивости к листовым болезням среди современных сортов озимой мягкой пшеницы в южной зоне Ростовской области	100
Лепешко Е. С. Разнообразие биотипов возбудителя ржавчины подсолнечника (<i>Puccinia helianthi</i> Schwein.) в Ростовской области	107

CONTENTS

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

Kovtunov V. V., Kovtunova N. A. History of sorghum breeding and seed production in the ARC "Donskoy"	5
Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V., Kravchenko N. S. Productivity, seed quality and protein yield of pea samples developed by the FSBSI "ARC "Donskoy"	12
Zhiltsov A. V., Chekalin A. A., Popova O. V., Duvanov I. V., Miroshnichenko D. N. Prospects for combining the methods of haploid biotechnology and genome editing to improve spiked grains of the <i>Triticeae</i> family (review)	18
Davletov F. A., Gainullina K. P., Mustafin I. G., Yuldybaev I. R. Study results of the spring vetch varieties (<i>Vicia sativa</i> L.) in the Republic of Bashkortostan	27
Kirin A. V., Marchenko D. M., Ivanisov M. M., Rybas' I. A., Zelenskaya G. M. Formation of yield structure elements of winter bread wheat varieties when sown after peas in the conditions of the FSBSI "ARC "Donskoy"	33
Goryunov K. N., Regidin A. A., Ignatiev S. A. The effect of some morphological traits of collection alfalfa samples on productivity through a three-year growing cycle	40
Gaze V. L., Lobunskaya I. A., Yanovskaya N. V., Cherpakova E. Yu., Ashiev A. R. The effect of an anatomical structure of a stem on pea lodging	47
Torbina I. V. Adaptability of winter bread wheat varieties in the competitive variety testing in the Udmurt Republic	53
Khlystunov V. F., Dontsova A. A., Dontsov D. P. Results of estimating promising winter barley varieties and lines	60
Kostylev P. I., Krasnova E. V., Dubina E. V. Inheritance of lipid content in rice grain (review)	68

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT BREEDING

Butkovskaya L. K., Mudrova V. E., Polyakov A. O. Bioenergy estimation of spring barley and oat varieties' cultivation depending on seed-sowing rates in the Krasnoyarsk forest-steppe	78
Dudkina T. A., Sviridov V. I. Sustainability improvement of grain productivity of beet crop rotations in the forest-steppe of the Central Blackearth region	85
Tarchokov Kh. Sh., Mataeva O. Kh., Bzhinaev F. Kh., Berbekova N. V. The effect of sowing time on productivity of new maize hybrids	94

PLANT PROTECTION

Derova T. G., Shishkin N. V., Ivanisov M. M., Kononenko O. S. Search for sources of resistance to leaf diseases among present winter bread wheat varieties in the southern part of the Rostov region	100
Lepeshko E. S. Diversity of sunflower rust pathogen biotypes (<i>Puccinia helianthi</i> Schwein.) in the Rostov region	107

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.174:631.52:631.531.02(091)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-5-11

ИСТОРИЯ СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА СОРГО В АНЦ «ДОНСКОЙ»

В. В. Ковтунов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

Н. А. Ковтунова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье приведены краткие сведения о создании селекционно-семеноводческой школы по культуре сорго в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Аграрный научный центр «Донской» (ранее ГНУ ВНИИЗК им. И. Г. Калининко, а также ВНИИ сорго). Большой вклад в развитие селекционной программы по данной культуре внесли известные селекционеры Я. И. Исаков, Б. Н. Малиновский, Н. А. Шепель. Под их руководством было создано значительное количество сортов и гибридов сорго зернового, сахарного, травянистого и веничного. Переданный ими последующим селекционерам опыт позволил создать современные сорта и гибриды сорговых культур, которые в настоящее время включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ, и широко применяются в сельскохозяйственном производстве. Так, с 2021 г. в Госреестр включены новые высокопродуктивные сорта сорго сахарного Южное и Феникс, с 2023 г. внесены белозерный сорт сорго зернового Есаул и сорго-суданковый гибрид Добрыня. Созданы и проходят государственное сортоиспытание сорта сорго зернового Сотник и суданской травы Кудесница, сорго-суданковый гибрид Гордей, сорт сорго сахарного Орфей и гибрид Дуэт.

Ключевые слова: сорго зерновое, сорго сахарное, сорго веничное, суданская трава, селекция, семеноводство, агротехника, сорт.

Для цитирования: Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А. История селекции и семеноводства сорго в АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 5–11. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-5-11.



HISTORY OF SORGHUM BREEDING AND SEED PRODUCTION IN THE ARC “DONSKOY”

V. V. Kovtunov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for grain sorghum breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

N. A. Kovtunova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The current paper has presented brief information about the establishment of a sorghum breeding and seed production school at the Federal State Budgetary Scientific Institution “Agricultural Research Center “Donskoy” (formerly the State Scientific Institution All-Russian Research Institute of Grain Crops named after I. G. Kalinenko, as well as the All-Russian Research Institute of Sorghum). A great contribution to the development of the breeding program for this crop was made by famous breeders Ya. I. Isakov, B. N. Malinovsky, N. A. Shepel. Under their leadership, there was identified and developed a significant number of varieties and hybrids of grain, sweet, grass and broom sorghum. Their experience given to subsequent breeders made it possible to develop present sorghum varieties and hybrids, which are currently included in the State List of Breeding Achievements approved for use in the Russian Federation and are widely used in agricultural production. Thus, since 2021, new highly productive varieties of sweet sorghum ‘Yuzhnoye’ and ‘Feniks’ have been included in the State List. Since 2023, there have been included the white grained sorghum variety ‘Esaul’ and the sorghum-Sudan hybrid ‘Dobrynya’. There have been developed and are currently undergoing the state variety testing the grain sorghum variety ‘Sotnik’ and the Sudan grass ‘Kudesnitsa’, the sorghum-Sudan hybrid ‘Gordey’, the sweet sorghum variety ‘Orfey’ and the hybrid ‘Duet’.

Keywords: grain sorghum, sweet sorghum, broom sorghum, Sudan grass, breeding, seed production, agricultural technology, variety.

Введение. Сорго является одной из древнейших сельскохозяйственных культур. Рисунки уборки сорго и зерно найдены в Египте на памятниках, построенных за 2200 лет до нашей эры. Согласно одним источникам, культура сорго была известна за 2000 лет до нашей эры в Китае. Согласно другим, сорго возникло

около 5000–7000 лет назад в Эфиопии и Судане (Fantaye, 2018; Алабушев и др., 2003; Алабушев и Анипенко, 2002).

Ценность сорго как важнейшей продовольственной и кормовой технической культуры, бесспорно, признается всеми и повсеместно. Главными достоинствами сорго являются ис-

ключительная засухо- и жаростойкость, высокая и стабильная урожайность, хорошие кормовые качества, возможность использования как на зерно, так и на зеленый корм, силос, сенаж, сено, на пастбищах (Барановский, 2020; Abreha et al., 2021). Благодаря хорошо развитой корневой системе оно может произрастать на засоленных почвах, где другие культуры погибают, являясь хорошим фитомелиорантом (Муслимов, 2022; Shkodina et al., 2019).

По площади посева (от 39,2 до 44,7 млн га) сорго занимает пятое место в мире после таких культур, как пшеница, рис, кукуруза, и ячмень (Boyles et al., 2019), и выращивается в 86 странах мира. Валовой сбора зерна находится на уровне 58 млн т (Fantaye, 2018).

Результаты и их обсуждение. На Северном Кавказе первые опыты с культурой сорго начали проводить с 1904 г. и уже тогда заметили высокую продуктивность этого тропического растения.

На Дону на Ростово-Нахичеванской областной сельскохозяйственной опытной станции начали проводить первые опыты по сорго с 1912 года. В исследованиях 1914–1917 гг. сорт сорго сахарного Ранний январь за 2 укоса дал с десятины (1,0925 га) 1909 пудов (31,27 т) зеленой массы и 384,4 пуда сена (6,3 т). Из чего сделан вывод о перспективности данной культу-

ры на Северном Кавказе (Горпиниченко, 2010). Позже было установлено, что сорговое пастбище благоприятно отражается на показателях живого веса и продуктивности животных, а зерно служит хорошим концентрированным кормом для всех видов животных и птиц.

В 1921 г., после выхода первого постановления правительства о развитии семеноводства, Ростово-Нахичеванская-на-Дону сельскохозяйственная опытная станция была переименована в Ростовскую областную сельскохозяйственную опытную станцию. После этого началась активная селекционная работа по различным сельскохозяйственным культурам, в том числе и сорго. С 1938 г. руководителем отдела селекции сорго, состоящего из трех человек (Е.С. Якушевский, научный сотрудник Н.Г. Горпиниченко и рабочий), был назначен Е.С. Якушевский. Им был выведен сорт зернового сорго ВИР-8. Началом ведения семеноводства сортов зернового, сахарного и веничного сорго считается 1946 год (Горпиниченко, 2010).

В 1963 г. на Зерноградской государственной селекционной станции была организована лаборатория селекции сорго, которой до 1977 г. руководил кандидат, а позже доктор сельскохозяйственных наук Я.И. Исаков (Забегайлов, 2005) (рис. 1).

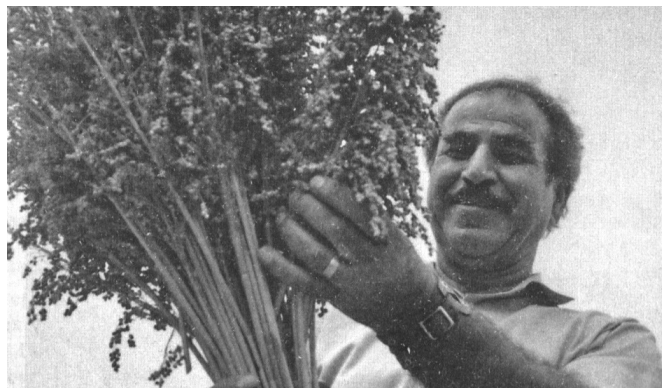


Рис. 1. Яшува Исакович Исаков
Fig. 1. Yashuva Isakovich Isakov

Уже в 1969 г. в системе сортоиспытания проходили изучение сорта сорго сахарного Зерноградское 3, Зерноградское 4, Зерноградское 6, Зерноградское 7, гибрид сорго зернового Дон 22, сорго-суданковый гибрид Ростовский 3. С 1969 г. гибрид Ростовский 3 высевался во всех зонах области.

Научно-исследовательскую работу под руководством Я.И. Исакова выполняла О.Д. Шарова, впоследствии бессменный ученый секретарь ВНИИ сорго.

В 1977 г. на базе лаборатории селекции и семеноводства сорго Зерноградской селекционной станции был создан Всероссийский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства сорговых культур (ВНИИ сорго). Он стал первым в мире институтом сорго, его директором был М.М. Когут. У истоков

института стояли Я.И. Исаков, Н.А. Шепель, В.В. Метлин, Б.Н. Малиновский (рис. 2).

В институте проводили научно-исследовательские работы по селекции и семеноводству сорго, технологии возделывания, физиологии растений и биохимии, а также занимались разработкой технологии приготовления кормов.

Проводили исследования по программе «Север» с целью создания скороспелых сортов и гибридов сорго с высокой урожайностью для возделывания в северных районах соргосеяния. Кроме того, велись исследования по 24 госзаданиям. Было изучено более 10 тыс. образцов со всего мира. Только за период с 1974 по 1984 год было включено в Госреестр 10 сортов и гибридов сорго зернового, сахарного, веничного и травянистого: Россорго 4,

Скороспелое 65, Зерноград 8, Хазине 33, Придонской 1, Сахарное 32, Сочностебельный 3, Донское 35, Станичная 7 и Многоукосная.

Их внедрение было проведено в 38 областях, краях и республиках страны на площади более полумиллиона гектаров.



А



Б



В

Рис. 2. Ученые-селекционеры: А – Николай Андреевич Шепель; Б – Вячеслав Васильевич Метлин; В – Борис Николаевич Малиновский

Fig. 2. Scientists on sorghum breeding: А – Nikolay Andreevich Shepel; В – Vyacheslav Vasilievich Metlin; С – Boris Nikolaevich Malinovsky

В институте под руководством В.В. Метлина велись исследования по использованию растений сахарного сорго для получения сахаросодержащего продукта. Были созданы сорта с содержанием сока 70–80 %, сахаров – 18–20 % и урожайностью зеленой массы 35–60 т/га. Разработана технология получения сиропа, обеспечивающая выход 2–5 т/га (10 % от урожая). Были приготовлены первые партии сиропа и дано разрешение на его использование для пищевых целей. В медицине высокую оценку получило применение сиропа для снижения радионуклидов в организме после аварии на АЭС. Кроме того, доказано, что из колосковых чешуй, остающихся после очистки, можно получать пищевые красители. Доказана возможность использования сиропа для получения этанола. Организация промышленной переработки сдерживалась отсутствием отечественного оборудования. В связи с этим велись переговоры с Италией.

Физиологическими особенностями культуры сорго занимались в лаборатории физиологии растений под руководством кандидатов с.-х. наук, а позже докторов с.-х. наук А.С. Казаковой и Е.В. Ионовой.

В этот период для становления культуры сорго много сделали кандидаты с.-х. наук С.И. Горпиниченко, Н.Я. Коломиец, ученый секретарь О.Д. Шарова, селекционер Ю.Н. Клепко и др.

В период с 1990 по 1998 год допущены к использованию сорта и гибриды сорго: сахарного – F_1 Зерсил, Зерноградский янтарь, Северное 44; сорго зернового – Зерноградское 1, Хазине 74, Хазине 28,

Хазине ультраранеспелое, Зерноградское 53, F_1 Пищевой 227; веничного – Приусадебное; сорго травянистого – Степнячка и ССГ Интенсивный (Горпиниченко, 2010).

Особенно следует отметить значительный вклад в развитие культуры сорго заведующего лабораторией агротехники сорго ВНИИ сорго, а впоследствии директора ВНИИЗК им. И.Г. Калиненко (ФГБНУ «АНЦ «Донской»), доктора сельскохозяйственных наук А.В. Алабушева (рис. 3), в научных трудах которого даются основополагающие рекомендации по возделыванию сорговых культур.



Рис. 3. Андрей Васильевич Алабушев
Fig. 3. Andrey Vasilievich Alabushev

Им были написаны монография «Адаптивная технология выращивания сорго зернового в засушливой зоне Северного Кавказа» и книга

«Технологические приемы возделывания и использования сорго», которые имеют важное значение для практической работы по выращиванию сорго.

Под руководством А.В. Алабушева во ВНИИ сорго работали кандидаты с.-х. наук В.И. Бескровный, Н.В. Шишкин, Н.Т. Гайко. Их работа была направлена на определение места сорго в полевом севообороте степной зоны РФ, определение влияния различных по интенсивности обработок почвы на ее агрофизические и агрохимические показатели плодородия, урожайность культуры в различных севооборотах, установление закономерностей изменения засоренности посевов под воздействием многолетнего использования разных систем обработок почвы. Ими давались агротехнические, энергетические и экономические оценки применения разных систем обработок почвы, удобрений и гербицидов. Н.А. Вахрушев проводил работы по изучению особенностей органогенеза, динамики роста в зависимости от применения физиологически активных ростовых веществ, ретардантов, десикантов, удобрений; установлению оптимальных сроков и доз обработки растений.

Кроме того, опыты по испытанию сорго в кормопроизводстве проводили на экспериментальной ферме (КРС) ВНИИ сорго. Работой

по изучению поедаемости, питательности кормов, разработкой рациона, составлением компонентов лучшего силоса и т.д. занималась кандидат с.-х. наук О.И. Алабушева.

После присоединения в 1999 г. Ростовской государственной селекционной опытной станции Донского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства к Всероссийскому научно-исследовательскому институту селекции и семеноводства сорговых культур отдел селекции и семеноводства сорго возглавил доктор с.-х. наук П.А. Мангуш (рис. 4) (Костылев и Краснова, 2022; Филенко и др., 2023).

Значительный вклад в развитие селекционной программы по сорго внесла кандидат с.-х. наук С.И. Горпиниченко (рис. 5), которая с 2003 г. возглавила отдел селекции и семеноводства сорго. Она умело сочетала научную работу с практическими действиями по руководству отделом.

В составе отдела в 2005 г. созданы лаборатории: селекции зернового сорго под руководством высококвалифицированного селекционера Ю.Н. Клепко; селекции кормового сорго во главе с кандидатом с.-х. наук Г.М. Ермолиной; семеноводства сорго под руководством доктора с.-х. наук Н.Г. Гурского, а позже – кандидата с.-х. наук П.И. Ляшова (рис. 6).



Рис. 4. Петр Антонович Мангуш
Fig. 4. Petr Antonovich Mangush



Рис. 5. Светлана Ивановна Горпиниченко
Fig. 5. Svetlana Ivanovna Gorpinichenko



А



Б

Рис. 6. Ученые по семеноводству сорго: А – Николай Григорьевич Гурский; Б – Павел Иванович Ляшов
Fig. 6. Scientists on sorghum seed production: A – Nikolay Grigorievich Gurskiy; B – Pavel Ivanovich Lyashov

Данная лаборатория в 2005 г., войдя в состав отдела селекции и семеноводства сорго, проводила большую работу по внедрению в производство этой ценной кормовой и продовольственной культуры. В результате в семеноводческих хозяйствах Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краев ежегодно выращивалось от 500 до 1500 т семян (Забегайлов, 2005).

Лаборатория занималась размножением оригинальных семян сортов и исходных родительских форм, внесенных в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации, а также изучением сортовых и семенных качеств зерна сорго.

Изучением устойчивости сорговых культур к различным болезням и вредителям занимался кандидат с.-х. наук А. А. Олейник. Под его руководством ставились опыты на искусственном и естественном инфекционном поле.

В институте был изучен и создан уникальный генофонд по зерновому, сахарному, травянистому, веничному сорго. В результате изучения мирового генофонда и отбора ценных форм, их использования в гибридизации были созданы сорта зернового сорго, сочетающие низкорослость с высокой продуктивностью, а также ультрараннеспелые формы (Горпиниченко, 2010).

Было установлено, что сорта и гибриды сорго селекции ВНИИЗК обладают наибольшей устойчивостью к стресс-факторам по сравнению с образцами инорайонной селекции, и урожайность зерна сортов Зерноградское 53, Скороспелое 89, Пищевой 227 в острожасушливые годы снижается в 1,4–2,0 раза, а у образцов из Индии, Франции и США – в 3–4 раза (Забегайлов, 2005).

В Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации за период с 2001 по 2010 год было внесено 15 сортов и гибридов сорго зернового (Лучистое, Аист, Орловское, F₁ Рубин, F₁ Санда, F₁ Бархан), сорго сахарного (Сахарсил, Дебют), сорго веничного (Венкор, Унивен, Артем, Зерноградское 38), суданской травы (Быстрянка, Александрина, Анастасия, сорго-суданковый гибрид Густолистный). В этот период созданы и получены патенты на ЦМС-линии зернового сорго Деметра и Джетта.

Значительная засухоустойчивость сорговых культур была доказана при испытаниях новых сортов и гибридов сорго в острожасушливой зоне – в Орловском районе (Восточная лаборатория) под руководством кандидата с.-х. наук Г. П. Герасименко.

В отделе плодотворно работали сотрудники: кандидат с.-х. наук Н. И. Андрищенко, автор 7 сортов и гибридов зернового сорго; старший научный сотрудник Л. В. Вахрушева, научный сотрудник А. Н. Сластухина. Долгие годы селекционную работу по созданию сортов зернового сорго проводила старший научный сотрудник О. А. Лушпина.

В области селекции и семеноводства сорго в разные периоды старательно выполняли работу агрономы и лаборанты-исследователи: О. А. Деточенко, В. Т. Машнева, А. И. Фоменко, О. Д. Заярная, Н. Я. Сивашева, А. А. Матвеева, Н. В. Ходоренко, Е. Б. Калганова, Е. В. Гернер, Т. В. Баранчук, Ю. В. Карамушкина.

В 2023 г. лабораторию селекции и семеноводства сорго зернового, лабораторию селекции и семеноводства сорго кормового, а также лабораторию селекции и семеноводства кукурузы объединили в отдел селекции и семеноводства сорго и кукурузы. В составе отдела лабораторию селекции и семеноводства сорго зернового возглавляет кандидат с.-х. наук Н. Н. Сухенко, а лабораторию селекции и семеноводства сорго кормового – Н. А. Ковтунова. Общее руководство отделом осуществляет кандидат с.-х. наук В. В. Ковтунов. Используя наработки и переданный опыт выдающихся селекционеров, селекционную работу продолжают селекционеры кандидаты с.-х. наук А. Е. Романюкин и Е. А. Шишова, агроном Ю. В. Репешко, а также лаборанты-исследователи И. С. Скорик, Н. В. Вигура и техник-исследователь А. М. Ткач.

Результатом селекционной работы является создание и включение с 2013 г. в Государственный реестр селекционных достижений гибрида сорго зернового F₁ Дюйм и белозерных сортов Зерноградское 88, Великан и Атаман, сочетающих раннеспелость и высокую урожайность зерна, а также сортов суданской травы Алиса и Грация, обладающих высокой интенсивностью начального роста, послеукосного отрастания и урожайностью зеленой массы (Ковтунова и др., 2021). В 2014 г. на выставке «Золотая осень» за комплекс достоинств по хозяйственно ценным признакам сорт сорго зернового Зерноградское 88 отмечен серебряной медалью, в 2019 г. сорт зернового сорго Атаман – золотой медалью, в 2021 г. сорт суданской травы Алиса – серебряной медалью. Только за период 2021–2023 гг. в Государственный реестр селекционных достижений включены сорта сорго сахарного Южное и Феникс и сорго зернового Есаул, сорго-суданковый гибрид Добрыня. Проходят государственное сортоиспытание высокоурожайные сорта сорго зернового Сотник и суданской травы Кудесница, сорго сахарного Орфей, сорго-суданковый гибрид Гордей и гибрид сорго сахарного Дуэт.

Выводы. В результате целенаправленной селекционной работы выдающихся ученых-селекционеров в различные годы создано значительное количество сортов и гибридов зернового, сахарного, веничного сорго, суданской травы и сорго-суданковых гибридов. В настоящее время продолжается работа по выведению новых сортов и гибридов сорговых культур, основанная на опыте предшественников.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н. Эффективность производства сорго зернового. Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2002. 192 с.
2. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я., Костылев П. И., Мангуш П. А., Алабушева О. И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2003. 368 с.
3. Барановский, А. В. Сравнительная продуктивность яровых зерновых культур в засушливых условиях Луганской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 1(81). С. 28–33.
4. Горпиниченко, С. И. История культуры сорго на Дону // История института – история времени. М.: ФГУП «Типография Россельхозакадемии», 2010. С. 74–82.
5. Забегайлов, Г. И. ВНИИЗК им. И. Г. Калиненко: 75 лет сельскохозяйственной науке от опытной станции до института. Ростов н/Д.: ЗАО «Книга», 2005. 280 с.
6. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Шишова Е. А. Новые высокоурожайные сорта суданской травы // Кормопроизводство. 2021. № 4. С. 31–34. DOI: 10.25685/KRM.2021.4.2021.006
7. Костылев П. И., Краснова Е. В. История создания сортов риса в Аграрном научном центре «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 3. С. 5–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-5-17
8. Муслимов, М. Г. Результаты испытания интродуцированных сортообразцов сорговых культур в условиях орошаемой равнинной зоны Дагестана // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 2(50). С. 86–90. DOI: 10.52671/20790996_2022_2_86
9. Филенко Г. А., Фирсова Т. И., Скворцова Ю. Г. История становления лаборатории первичного семеноводства и семеноведения в Аграрном научном центре «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 6–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-6-13
10. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S., Vetukuri R. R., Feyissa T., Motilhaodi T., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // Planta. 2021. Vol. 255. DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7
11. Boyle R. E., Brenton Z. W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // The Plant Journal. 2019. Vol. 97. P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113
12. Fantaye, B. M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review // Plant Science. 2018. Vol. 1(3), Article number: 307.
13. Shkodina E. P., Balun O. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Agroecological testing of sugar sorghum, sudanese grass and sorghum-sudanese hybrids in the natural conditions of the Novgorod region // Indo American journal of pharmaceutical science. 2019. Vol. 6, № 7. P. 13810–13815. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541

References

1. Alabushev A. V., Anipenko L. N. Effektivnost' proizvodstva sorgo zernovogo [Efficiency of grain sorghum production]. Rostov n/D.: ZAO «Kniga», 2002. 192 s.
2. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gurskii N. G., Kolomiets N. Ya., Kostylev P. I., Mangush P. A., Alabusheva O. I. Sorgo (seleksiya, semenovodstvo, tekhnologiya, ekonomika) [Sorghum (breeding, seed production, technology, economics)]. Rostov n/D.: ZAO «Kniga», 2003. 368 s.
3. Baranovskii, A. V. Sravnitel'naya produktivnost' yarovykh kul'tur v zasushlivykh usloviyakh Luganskoi oblasti [Comparative productivity of spring grain crops in arid conditions of the Lugansk region] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 1(81). S. 28–33.
4. Gorpinichenko, S. I. Istoriya kul'tury sorgo na Donu [History of sorghum on the Don area// History of the Institute is history of time] // Istoriya instituta – istoriya vremeni. M.: FGUP «Tipografiya Rossel'khozakademii», 2010. S. 74–82.
5. Zabegailov, G. I. VNIIZK im. I. G. Kalinenko: 75 let sel'skokhozyaistvennoi nauke ot opytnoi stantsii do instituta [ARRIGC named after I. G. Kalinenko: 75 years of agricultural science from experimental station to institute]. Rostov n/D.: ZAO «Kniga», 2005. 280 s.
6. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Shishova E. A. Novye vysokourozhainnye sorta sudanskoi travy [New highly productive varieties of Sudan grass] // Kormoproizvodstvo. 2021. № 4. S. 31–34. DOI: 10.25685/KRM.2021.4.2021.006
7. Kostylev P. I., Krasnova E. V. Istoriya sozdaniya sortov risa v Agrarnom nauchnom tsentre «Donskoi» [History of the development of rice varieties at the Agricultural Research Center "Donskoy"] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 3. S. 5–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-5-17
8. Muslimov, M. G. Rezul'taty ispytaniya introdutsirovannykh sortoobraztsov sorgovykh kul'tur v usloviyakh oroshaemoi ravninnoi zony Dagestana [Results of testing introduced sorghum varieties at the irrigated plain area of Dagestan] // Problemy razvitiya APK regiona. 2022. № 2(50). S. 86–90. DOI: 10.52671/20790996_2022_2_86
9. Filenko G. A., Firsova T. I., Skvortsova Yu. G. Istoriya stanovleniya laboratorii pervichnogo semenovodstva i semenovedeniya v Agrarnom nauchnom tsentre «Donskoi» [History of the establishment of the laboratory for primary seed production and seed science at the Agricultural Research Center "Donskoy"] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 4. S. 6–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-6-13
10. Abreha K. B., Enyew M., Carlsson A. S., Vetukuri R. R., Feyissa T., Motilhaodi T., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // Planta. 2021. Vol. 255. DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7

11. Boyle R.E., Brenton Z.W., Kresovich S. Genetic and genomic resources of sorghum to connect genotype with phenotype in contrasting environments // The Plant Journal. 2019. Vol. 97. P. 19–39. DOI: 10.1111/tpj.14113

12. Fantaye, B.M. Genetic improvement of lysine content in sorghum: A Review // Plant Science. 2018. Vol. 1(3), Article number: 307.

13. Shkodina E.P., Balun O.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Agroecological testing of sugar sorghum, sudanese grass and sorghum-sudanese hybrids in the natural conditions of the Novgorod region // Indo American journal of pharmaceutical science. 2019. Vol. 6, № 7. P. 13810–13815. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541

Поступила: 27.02.24; доработана после рецензирования: 24.05.24; принята к публикации: 25.04.24.

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. Ковтунов В.В., Ковтунова Н.А. – концептуализация исследований, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УРОЖАЙНОСТЬ, КАЧЕСТВО ЗЕРНА И СБОР БЕЛКА ОБРАЗЦОВ ГОРОХА ПОСЕВНОГО СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

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, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703;

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Цель исследований – определить количественные и качественные показатели зерна образцов гороха посевного. Исследования проведены в южной зоне Ростовской области на полях в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021–2023 годах. Объектами исследований служили 12 сортов и селекционных линий гороха посевного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве стандарта использовали районированный сорт Аксайский усатый 5. Качественные характеристики гороха, такие как содержание белка в семенах и их разваримость, сильно зависят от условий окружающей среды и часто имеют негативную корреляцию с урожайностью зерна. Одна из целей в селекции гороха – изменить эту обратную зависимость между урожайностью и качеством зерна. Средняя урожайность сортов и линий в конкурсном сортоиспытании в среднем за годы исследований составила 3,66 т/га. Достоверно превысили стандарт Аксайский усатый 5 (3,46 т/га) сорта и линии: Г-1181 (4,17 т/га), Казак (4,02 т/га), АКМ (3,99 т/га), Г-1313 (3,80 т/га). Наибольшим содержанием белка (второй класс качества, 22,0–25,0 %) отличились образцы Аксайский усатый 5 (23,7 %), Скиф (24,4 %), Казак (23,1 %), АКМ (23,6 %), Г-1141 (24,3 %), Г-1172 (25,0 %), Г-1181 (22,3 %). Среднее значение развариваемости в исследованиях составило 75 мин. Минимальная продолжительность варки была у сортов Аксайский усатый 5 (63 мин), Скиф (63 мин) и линий Г-1234 (65 мин) и Г-1288 (70 мин). Коэффициент развариваемости в среднем за годы исследований составил 2,20 с варьированием от 1,92 до 2,61. Сбор белка в среднем за годы исследований был 0,85 т/га. Высокими показателями отличились сорта Казак (0,94 т/га), АКМ (0,93 т/га) и селекционные линии Г-1181 (0,93 т/га), Г-1313 (0,90 т/га). Максимальные значения сбора белка выявлены при максимальной урожайности (4,2–4,3 т/га) и содержании белка 23,5–24,0 %.

Ключевые слова: горох, сорт, линия, варибельность, урожайность, белок, разваримость, время варки.

Для цитирования: Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Кравченко Н. С. Урожайность, качество зерна и сбор белка образцов гороха посевного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 12–17. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-12-17.



PRODUCTIVITY, SEED QUALITY AND PROTEIN YIELD OF PEA SAMPLES DEVELOPED BY THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

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;

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

FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,

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

The purpose of the current study was to determine the quantitative and qualitative indicators of seeds of pea samples. The study was carried out in the southern part of the Rostov region in the fields of the FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy” in 2021–2023. The objects of research were 12 pea samples developed by the ARC “Donskoy”. The zoned variety ‘Aksaisky Usaty 5’ was used as a standard. Quality characteristics of peas, such as protein percentage in seeds and their ability to boil soft, are highly dependent on environmental conditions and often have a negative correlation with seed productivity. One of the goals in pea breeding is to change this inverse correlation between productivity and seed quality. The mean productivity of the varieties and lines in the Competitive

Variety Testing through the years of study was 3.66 t/ha on average. The standard 'Aksai Usaty 5' (3.46 t/ha) was reliably exceeded by such varieties and lines as 'G-1181' (4.17 t/ha), 'Kazak' (4.02 t/ha), 'AKM' (3.99 t/ha), 'G-1313' (3.80 t/ha). The samples with the highest protein percentage (second quality class, 22.0–25.0 %) were 'Aksaysky Usaty 5' (23.7 %), 'Skif' (24.4 %), 'Kazak' (23.1 %), 'AKM' (23.6 %), 'G-1141' (24.3 %), 'G-1172' (25.0 %), 'G-1181' (22.3 %). The mean boiling time was 75 minutes. The minimum boiling time was 63 minutes for the varieties 'Aksaysky Usaty 5', 'Skif', 65 minutes for the line 'G-1234' and 70 minutes for the line 'G-1288'. The mean coefficient of the ability to boil soft over the years of study was 2.20, varying from 1.92 to 2.61. The mean protein yield over the years of study was 0.85 t/ha. The varieties 'Kazak' (0.94 t/ha), 'AKM' (0.93 t/ha) and breeding lines 'G-1181' (0.93 t/ha), 'G-1313' (0.90 t/ha) showed the best indicators. The maximum values of protein yield were identified at maximum productivity of 4.2–4.3 t/ha and 23.5–24.0% of protein in seeds.

Keywords: peas, variety, line, variability, productivity, protein, ability to boil soft, boiling time.

Введение. Проблема доступности продуктов питания и ликвидации белкового дефицита в мире достаточно актуальна. Источником низкого по себестоимости полноценного белка могут стать зернобобовые культуры, в том числе горох (Пахотина и др., 2020). Успешное увеличение производства качественных семян гороха зависит от селекции, которая является основным источником потенциала роста. В процессе создания новых сортов необходимо учесть их высокую продуктивность, устойчивость к вредителям и болезням, а также возможность использования современных технологий и удобство сбора урожая (Лихачева и Гималетдинова, 2019). Кроме этого, данная культура может обогащать почву азотом с помощью специальных ризобийных бактерий. Благодаря этому симбиозу бактерии помогают бобовым растениям получать дополнительный азот (Миннебаев и др., 2019). В последние годы достигнут значительный прогресс в селекции бобовых, что позволило создать новые сорта с повышенной урожайностью и адаптивностью к различным экологическим условиям. Но несмотря на эти достижения, нам по-прежнему необходимо улучшать существующие сорта и создавать новые, чтобы адаптироваться к постоянно меняющейся окружающей среде. Новые условия также требуют снижения затрат на производство, особенно в органическом и биодинамическом сельском хозяйстве, где производительность до сих пор остается проблемой (Georgieva and Kosev, 2020). В современном земледелии требуется поиск эффективных и экологически безопасных методов повышения урожайности культурных растений, которые позволят сохранить плодородие почвы, уравновесить кислотно-основной баланс, стимулировать деятельность полезных микроорганизмов и обеспечить долгосрочный эффект (Козлов и др., 2021).

В настоящее время в пищевой промышленности развитых стран мира наблюдается растущий интерес к гороху в качестве продукта. Популярность горохового белка обусловлена его легкой усвояемостью организмом, минимальным риском аллергических реакций и экологической чистотой производства. Горох представляет собой ценный источник пищевого белка и крахмала, безопасного для человека, идеально подходящего для устойчивого производства пищевых продуктов (Путина и др., 2018). Однако в сельском хозяйстве недостаток ценных пищевых сортов гороха является заметной проблемой. Это обусловлено

тем, что при разработке новых сортов гороха больше внимания уделяется увеличению урожайности, технологичности и устойчивости к внешним факторам. В то же время селекции на качество гороха уделяется меньше внимания, поскольку это трудоемкий и сложный процесс (Катюк, 2021; Кожухова, 2023). Одна из сложностей заключается в том, что качественные характеристики гороха, такие как содержание белка в семенах и их разваримость, сильно зависят от условий окружающей среды и часто имеют негативную корреляцию с урожайностью зерна. Одна из целей в селекции гороха – изменить эту обратную зависимость между урожайностью и качеством зерна. Научные исследования в этой области позволили выявить гены, ответственные за высокую продуктивность и качество семян. Создание ценных сортов гороха, которые будут полноценным источником экологически чистого питания со сбалансированным аминокислотным составом, является актуальной задачей, учитывая спрос на эту культуру на мировом рынке (Robinson et al., 2021; Агеева и др., 2022).

Цель исследований – определить количественные и качественные показатели зерна образцов гороха посевного.

Материалы и методы исследования. Исследования проводили на полях ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в южной зоне Ростовской области, в 2021–2023 годах. Погодно-климатические условия проведения исследований характеризуются как полузасушливые. Почва представлена черноземом обыкновенным мощным карбонатным тяжелосуглинистым. Предшественник – озимая пшеница. Полевые исследования проведены согласно Методике полевого опыта (2012), биохимические анализы проведены согласно ГОСТ Р 54630-2011 (Горох кормовой. Технические условия), ГОСТ 10846-91 (Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка), Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. 1988).

Объектами исследований служили 12 образцов гороха посевного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», высеянных в конкурсном сортоиспытании. В качестве стандарта использовали районированный сорт Аксайский усатый 5.

Посев проводили в третью декаду марта сеялкой центрального высева «Деметра»

с междурядьями 15 см и количеством рядков 7. Площадь делянки 15 м², повторность шестикратная. Уборку проводили при достижении полной спелости семян комбайном «Wintersteiger».

Статистическая обработка полученных результатов проведена методом дисперсионного анализа (Доспехов, 2014) и программой статистической обработки данных Statistica 10.

Метеорологические условия в годы исследований характеризовались сильной изменчивостью, что позволило объективно оценить линии гороха по изучаемым показателям.

В 2021 и 2023 гг. сформировались благоприятные условия за годы проведения исследований (табл. 1).

Таблица 1. Агрометеорологические условия в период вегетации гороха посевного (2021–2023 гг.)

Table 1. Weather conditions during the pea vegetation period (2021–2023)

Год	Месяц	Осадки, мм	Осадки среднеемноголетние, мм	Температура воздуха, °С	Температура среднеемноголетняя, °С	ГТК	ГТК среднеемноголетний
2021	Апрель	95,7	42,7	11,9	10,7	2,69	1,33
	Май	64,5	51,3	18,1	16,5	1,15	1,00
	Июнь	103,9	71,3	21,5	20,5	1,61	1,16
	Июль	24,6	57,7	26,7	23,1	0,30	0,81
	За вегетационный период	288,7	223,0	19,6	17,7	1,21	1,07
2022	Апрель	57,9	42,7	12,7	10,7	1,47	1,29
	Май	19,1	51,3	14,8	16,5	0,42	1,00
	Июнь	7,4	71,3	23,1	20,5	0,10	1,12
	Июль	55,8	57,7	23,7	23,1	0,76	0,81
	За вегетационный период	140,2	223,0	18,6	17,7	0,62	1,03
2023	Апрель	82,4	42,7	11,5	12,7	2,39	1,12
	Май	114,4	51,3	15,7	14,8	2,35	1,12
	Июнь	37,0	71,3	20,4	23,1	0,60	1,03
	Июль	51,7	57,7	23,7	23,7	0,70	0,79
	За вегетационный период	285,5	223,0	17,8	17,7	1,31	0,98

В 2021 г. вегетация гороха проходила при достаточном увлажнении и повышенном температурном фоне по сравнению со среднеемноголетними показателями. Однако в июле наблюдался дефицит осадков и высокие температуры, что привело к угнетению растений гороха. В 2022 г. наблюдались самые неблагоприятные условия за годы проведения исследований. Так, за весь вегетационный период выпало 140,2 мм осадков (среднеемноголетнее значение 223,0 мм) при средней температуре воздуха 18,6 °С (среднеемноголетнее – 17,7 °С). Только в апреле, в начальные фазы развития растений, выпало достаточно осадков для вегетации. В 2023 г. вегетация проходила при достаточном увлажнении (285,5 мм при среднеемноголетнем 223 мм) и пониженных температурах

воздуха. Первая половина вегетации в апреле и мае проходила при избыточном увлажнении и пониженных температурах, что привело к ее затягиванию. В то же время это позволило растениям заложить и завязать больше продуктивных завязей. Накопленные осадки, выпавшие в апреле и мае, позволили перекрыть дефицит осадков июня. В июне снижению потерь влаги от интенсивного испарения способствовали пониженные температуры (20,4 °С при среднеемноголетних 23,1 °С).

Результаты и их обсуждение. Средняя урожайность сортов и линий в конкурсном сортоиспытании в среднем за годы исследований составила 3,66 т/га и показателем урожайности у стандартного сорта Аксайский усатый 5 – 3,46 т/га (табл. 2).

Таблица 2. Урожайность и качество семян сортов и перспективных линий гороха (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 2. Productivity and quality of seeds of promising pea lines (mean in 2021–2023)

Сорт, линия	Урожайность		+ к стандарту, т/га	Содержание белка		Развариваемость		Коэффициент развариваемости		Сбор белка	
	т/га	Сv, %		%	Сv, %	мин	Сv, %		Сv, %	т/га	Сv, %
Аксайский усатый 5, st	3,46	27,1	–	23,7	7,5	63	9,1	2,22	4,2	0,81	23,6
Скиф	3,59	28,6	+0,13	24,4	3,1	63	9,1	2,09	6,0	0,87	26,7
Казак	4,02	25,6	+0,56	23,1	16,3	75	28,3	1,97	3,9	0,94	33,3
АКМ	3,99	22,0	+0,53	23,6	9,4	78	22,8	2,19	7,1	0,93	15,1
Г-1141	3,47	22,9	+0,01	24,3	10,5	83	12,9	2,35	6,6	0,84	22,5
Г-1172	3,46	30,3	0,0	25,0	6,3	75	9,4	2,35	6,0	0,87	36,2

Продолжение табл. 2

Сорт, линия	Урожайность		+ к стандарту, т/га	Содержание белка		Развариваемость		Коэффициент развариваемости		Сбор белка	
	т/га	Св, %		%	Св, %	мин	Св, %		Св, %	т/га	Св, %
Г-1181	4,17	34,6	+0,71	22,3	1,0	83	12,9	2,27	4,0	0,93	33,7
Г-1193	3,62	29,0	+0,16	20,8	3,1	80	8,8	2,15	4,3	0,75	26,0
Г-1228	3,62	28,4	+0,16	20,8	8,2	80	26,5	2,03	0,3	0,74	20,4
Г-1234	3,44	28,4	-0,02	22,7	10,2	65	10,9	2,16	2,6	0,77	18,5
Г-1288	3,62	41,7	+0,16	23,5	1,9	70	0,0	2,24	2,5	0,85	43,4
Г-1313	3,80	35,2	+0,34	24,1	7,7	80	17,7	2,37	14,3	0,90	27,9
Г-1315	3,37	34,3	-0,09	24,3	10,0	80	35,4	2,24	14,2	0,80	24,8
Среднее	3,66	29,8	—	23,3	7,3	75	15,7	2,20	5,9	0,85	27,1
НСР ₀₅	—	—	0,265	—	—	—	—	—	—	—	—
Стандартное отклонение	—	—	—	1,32	—	7,4	—	0,123	—	0,068	—

Достоверно превысили стандарт по урожайности сорта и линии Г-1181 (4,17 т/га), Казак (4,02 т/га), АКМ (3,99 т/га), Г-1313 (3,80 т/га).

Содержание белка в среднем за годы исследований составило 23,3 % с варьированием от 20,8 до 25,0 % и коэффициентом вариации 5,7 %. Согласно ГОСТ Р 54630–2011 (Горох кормовой. Технические условия) к первому классу (более 25,0 %) не отнесен ни один образец. Ко второму классу (22,0–25,0 %) отнесены сорта и линии Аксайский усатый 5 (23,7 %), Скиф (24,4 %), Казак (23,1 %), АКМ (23,6 %), Г-1141 (24,3 %), Г-1172 (25,0 %), Г-1181 (22,3 %).

Для снижения экономических затрат при использовании зерна гороха на пищевые и кормовые цели важен такой показатель, как «время варки», или «развариваемость». Чем оно меньше, тем ниже расходы на энергоносители. Среднее значение развариваемости в исследованиях составило 75 мин. Минимальную продолжительность варки имели образцы Аксайский усатый 5 (63 мин), Скиф (63 мин), Г-1234 (65 мин) и Г-1288 (70 мин). У остальных она составила от 75 до 83 мин.

Немаловажным показателем является показатель «коэффициент развариваемости» при производстве готовых кормов для животных. Чем он выше, тем больше готового корма возможно получить с единицы сухого зерна гороха. Данный показатель в среднем за годы

исследований составил 2,20 с варьированием от 1,97 (Казак) до 2,37 (Г-1313).

Одним из главных показателей для гороха как представителя бобовых культур, которые всегда отвечают за белковую составляющую при производстве кормов, является сбор белка. В среднем за годы исследований было получено 0,85 т/га белка с урожаем. Достоверно (0,068 т/га) стандартный сорт Аксайский усатый 5 (0,81 т/га) превысили сорта Казак (0,94 т/га), АКМ (0,93 т/га) и селекционные линии Г-1181 (0,93 т/га), Г-1313 (0,90 т/га).

Оценивая урожайность и качество семян гороха по вариабельности, можно отметить, что они имели разный уровень варьирования. Наиболее стабильными (вариабельность менее 10 %) были содержание белка в семенах гороха (7,3 %) и коэффициент развариваемости (5,9 %). Среднюю вариабельность показало время варки и составило 15,7 %. Наибольшую вариабельность в исследованиях показали урожайность семян гороха и сбор белка (29,8 и 27,1 %), что свидетельствует о высокой их подверженности влиянию условий возделывания.

В ходе проведения исследований возник вопрос, насколько зависимы исследуемые показатели друг от друга. Результаты корреляционных связей представлены в таблице 3.

Таблица 3. Корреляция урожайности и показателей качества семян гороха (2021–2023 гг.)
Table 3. Correlation between productivity and quality of pea seeds (2021–2023)

Показатель	Содержание белка, %	Развариваемость, мин	Коэффициент развариваемости	Сбор белка, т/га
Урожайность, т/га	-0,29+0,29	0,44+0,27	-0,13+0,30	0,72**+0,21
Содержание белка, %	—	-0,23+0,29	0,53*+0,23	0,44+0,27
Развариваемость, мин	—	—	0,27+0,29	0,21+0,29
Коэффициент развариваемости	—	—	—	0,23+0,29

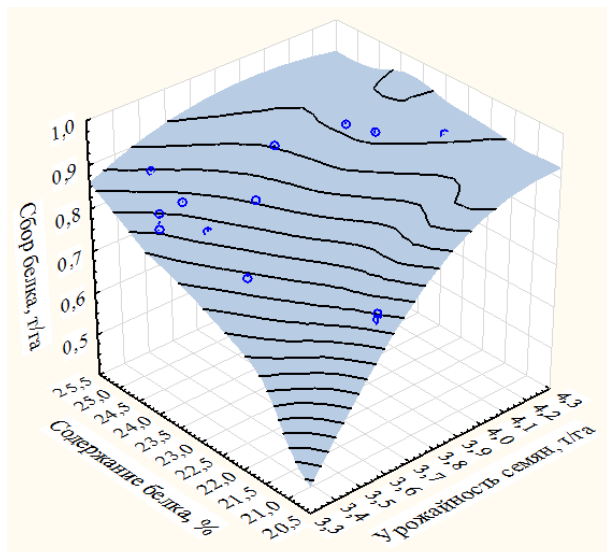
Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне; ** – достоверно на 1%-м уровне.

Положительная средняя зависимость наблюдается между содержанием белка и коэффициентом развариваемости ($r = 0,53$). Чем больше содержание белка в семенах гороха, тем выше коэффициент развариваемости. А достоверная положительная высокая корреляция наблюдается между урожайностью

и сбором белка ($r = 0,72$). При этом влияние содержания белка на сбор белка было на среднем уровне (0,44), но достоверность незначима ($p = 0,132$).

Основное преимущество зернобобовых культур – высокое содержание белка в зерне. И максимальный сбор белка с единицы площа-

ди – одна из главных задач. Поэтому, с учетом высокой корреляции сбора белка с урожайностью и средней с содержанием белка, для более детального определения сбора белка была составлена гистограмма (см. рис.).



Сбор белка в зависимости от урожайности зерна и содержания белка в зерне гороха посевного (среднее за 2021–2023 гг.)

Protein yield depending on grain productivity and protein percentage in pea seeds (mean in 2021–2023)

На иллюстрации видно, что с увеличением урожайности прослеживается повышение сбора белка. То же наблюдается и с содержанием белка. Имеется только небольшой уча-

сток, где прослеживается снижение сбора белка при повышении урожайности более 4,0 т/га и повышении содержания белка более 24,0 %. Максимальные значения сбора белка выявлены при максимальной урожайности (4,2–4,3 т/га) и содержании белка 23,5–24,0 %.

Выводы. Различные агрометеорологические условия в годы проведения исследований позволили определить вариабельность признаков. С наименьшей вариабельностью были содержание белка в семенах гороха (7,3 %) и коэффициент разваримости (5,9 %), средней – время варки (15,7 %) и высокой – урожайность семян (29,8 %) и сбор белка (27,1 %).

Высокой урожайностью отличились сорта Казак (4,02 т/га), АКМ (3,99 т/га) и линии Г-1181 (4,17 т/га), Г-1313 (3,80 т/га).

Высокое содержание белка имели сорта Аксайский усатый 5 (23,7 %), Скиф (24,4 %), Казак (23,1 %), АКМ (23,6 %) и линии Г-1141 (24,3 %), Г-1172 (25,0 %), Г-1181 (22,3 %).

Минимальное время варки требовалось образцам Аксайский усатый 5 (63 мин), Скиф (63 мин), Г-1234 (65 мин) и Г-1288 (70 мин).

Сбор белка с гектара с максимальными значениями был получен у сортов Казак (0,94 т/га), АКМ (0,93 т/га) и селекционных линий Г-1181 (0,93 т/га) и Г-1313 (0,90 т/га).

Положительная средняя связь наблюдалась между содержанием белка и коэффициентом развариваемости ($r = 0,53$). Положительная высокая корреляция была между урожайностью и сбором белка ($r = 0,72$).

Максимальные значения сбора белка выявлены при максимальной урожайности (4,2–4,3 т/га) и содержании белка 23,5–24,0 %.

Библиографические ссылки

1. Агеева П.А., Почутин Н.А., Громова О.М., Зайцева Н.М. Люпин узколистый – результаты изучения сортов и сортообразцов по адаптивности и комплексу хозяйственно-биологических признаков // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. Т. 23, № 2. С. 211–220. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.2.211-220
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Катюк, А.И. Формирование белка и пищевые достоинства перспективных линий гороха в лесостепи Среднего Поволжья // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 12 (215). С. 41–49. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-41-49
4. Кожухова, Е.В. Адаптивные показатели элементов продуктивности образцов гороха с разной длиной стебля // *Вестник КрасГАУ*. 2023. № 7. С. 103–110. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-7-103-110
5. Козлов А.В., Куликова А.Х., Уромова И.П. Подвижность силикатов, показатели плодородия дерново-подзолистой почвы, биоаккумуляция кремния и продуктивность сельскохозяйственных культур под действием цеолита // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56, № 1. С. 183–198. DOI: 10.15389/argobiology.2021.1.183rus
6. Лихачева Л.И., Гималетдинова В.С. Перспективные сорта гороха селекции Красноуфимского селекционного центра // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33, № 6. С. 30–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10607
7. Миннебаев Л.Ф., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Чанышев И.О., Логинов О.Н. Продуктивность бобово-ризобиального комплекса под влиянием ростстимулирующих штаммов микроорганизмов // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54, № 3. С. 481–493. DOI: 10.15389/argobiology.2019.3.481rus
8. Пахотина И.В., Омелянюк Л.В., Игнатъева Е.Ю., Асанов А.М. Особенности формирования содержания белка в зерне гороха в условиях Западной Сибири. *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 10. С. 60–67.
9. Путина О.В., Бобков С.В., Вишнякова М.А. Углеводный состав семян и его связь с другими селекционно значимыми признаками у овощного гороха (*Pisum sativum* L.) в условиях Краснодарского края // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53, № 1. С. 179–188.
10. Georgieva N., Kosev V. Оптимальные параметры модельных сортов кормовых бобов (*Vicia faba* L.) для центральной части Дунайской равнины, Болгария // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 3. С. 544–551. DOI: 10.15389/argobiology.2020.3.544rus

11. Robinson G.H. J., Domoney C. Perspectives on the genetic improvement of health- and nutrition-related traits in pea. // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 158. P. 353–362. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.020

References

1. Ageeva P.A., Pochutina N.A., Gromova O.M., Zaitseva N.M. Lyupin uzkolistnyi – rezul'taty izucheniya sortov i sortobraztsov po adaptivnosti i kompleksu khozyaistvenno-biologicheskikh priznakov [Angustifolia lupine and study results of the varieties and variety samples according to adaptability and a complex of economic and biological traits] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2022. T. 23, № 2. S. 211–220. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.2.211-220
2. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. 5-e izd., dop. i pererab. M.: Al'yans. 2014. 352 s.
3. Katyuk, A.I. Formirovaniye belka i pishchevye dostoinstva perspektivnykh linii gorokha v lesostepi Srednego Povolzh'ya [Protein formation and nutritional merits of promising pea lines in the forest-steppe of the Middle Volga region] // *Agrarnyi vestnik Urala*. 2021. № 12 (215). S. 41–49. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-41-49
4. Kozhukhova, E.V. Adaptivnye pokazateli elementov produktivnosti obraztsov gorokha s raznoi dlinoi steblya [Adaptive indicators of productivity elements of pea samples with different stem lengths] // *Vestnik KrasGAU*. 2023. № 7. S. 103–110. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-7-103-110
5. Kozlov A.V., Kulikova A. Kh., Uromova I.P. Podvizhnost' silikatov, pokazateli plodorodiya dervno-podzolistoi pochvy, bioakkumulyatsiya kremniya i produktivnost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur pod deistviem tseolita [Mobility of silicates, indicators of fertility of soddy-podzolic soil, bioaccumulation of silicon and productivity of agricultural crops under the influence of zeolite] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2021. T. 56, № 1. S. 183–198. DOI: 10.15389/argobiology.2021.1.183rus
6. Likhacheva L.I., Gimaletdinova V.S. Perspektivnye sorta gorokha selektsii Krasnoufimskogo selektsionnogo tsentra [Promising pea varieties developed at the Krasnoufimsky Breeding Center] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019. T. 33, № 6. S. 30–32. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10607
7. Minnebaev L.F., Kuzina E.V., Rafikova G.F., Chanyshv I.O., Loginov O.N. Produktivnost' bobovo-rizobial'nogo kompleksa pod vliyaniem roststimuliruyushchikh shtammov mikroorganizmov [Productivity of the legume-rhizobium complex under the effect of growth-stimulating strains of microorganisms] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2019. T. 54, № 3. S. 481–493. DOI: 10.15389/argobiology.2019.3.481rus
8. Pakhotina I.V., Omel'yanyuk L.V., Ignat'eva E.Yu., Asanov A.M. Osobennosti formirovaniya soderzhaniya belka v zerne gorokha v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Features of protein formation in pea grains in Western Siberia] // *Vestnik KrasGAU*. 2020. № 10. S. 60–67.
9. Putina O.V., Bobkov S.V., Vishnyakova M.A. Uglevodnyi sostav semyan i ego svyaz' s drugimi selektsionno znachimymi priznakami u ovoshchnogo gorokha (*Pisum sativum* L.) v usloviyakh Krasnodarskogo kraia [Carbohydrate composition of seeds and its correlation with other breeding significant traits of vegetable peas (*Pisum sativum* L.) in the conditions of the Krasnodar Krai] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2018. T. 53, № 1. S. 179–188.
10. Georgieva N., Kosev V. Optimal'nye parametry model'nykh sortov kormovykh bobov (*Vicia faba* L.) dlya tsentral'noi chasti Dunaiskoj ravniny, Bolgariya [Optimal parameters of model broad bean cultivar (*Vicia faba* L.) for the central part of the Danube Plain, Bulgaria] // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*. 2020. T. 55, № 3. S. 544–551. DOI: 10.15389/argobiology.2020.3.544rus
11. Robinson G.H. J., Domoney C. Perspectives on the genetic improvement of health- and nutrition-related traits in pea. // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 158. P. 353–362. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.020

Поступила: 19.03.24; доработана после рецензирования: 06.04.24; принята к публикации: 25.04.24.

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., Кравченко Н. С. – 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.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЧЕТАНИЯ МЕТОДОВ ГАПЛОИДНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ И РЕДАКТИРОВАНИЯ ГЕНОМОВ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОЛОСОВЫХ ЗЛАКОВ СЕМЕЙСТВА *TRITICEAE* (ОБЗОР)

А. В. Жильцов¹, младший научный сотрудник лаборатории клеточных биотехнологий эмбриогенеза зерновых культур, zhiltsoff.sasha2013@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-3080-5077;

А. А. Чекалин¹, младший научный сотрудник лаборатории клеточных биотехнологий эмбриогенеза зерновых культур, sasha.chekalin.98@mail.ru, ORCID ID: 0009-0004-7052-0789;

О. В. Попова¹, лаборант-исследователь лаборатории клеточных биотехнологий эмбриогенеза зерновых культур;

И. В. Дуванов¹, научный сотрудник лаборатории клеточных биотехнологий эмбриогенеза зерновых культур, biotechduvanov@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0007-3406-6277;

Д. Н. Мирошниченко^{1,2}, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией клеточных биотехнологий эмбриогенеза зерновых культур ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», старший научный сотрудник лаборатории генетической инженерии растений ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии», miroshnichenko@bibch.ru, ORCID ID: 0000-0003-3975-7484

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», 143026, Московская обл., г.п. Одинцово, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, д. 6;

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ФГБНУ ВНИИСБ), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 42; e-mail: iab@iab.ac.ru

За последние несколько десятилетий гаплоидные биотехнологии стали неотъемлемой частью селекционных программ для многих сельскохозяйственных культур. С помощью стратегии удвоения гаплоидов, индуцируемых в культуре гаметных клеток и тканей *in vitro*, посредством андрогенеза, гиногенеза и отдаленной гибридизации стало возможным значительно сократить время создания новых сортов. С помощью технологии удвоенных гаплоидов в течение одной-двух генераций можно получить выровненные гомозиготные линии, которые не только помогают ускорить селекционный процесс, но и являются хорошим подспорьем в изучении ряда научно-практических проблем. Другой перспективный инструмент для получения линий и образцов с заданными признаками в пределах нескольких поколений – редактирование генома с помощью различных редактирующих комплексов на основе нуклеаз. Появившаяся десять лет назад технология редактирования генома CRISPR/Cas9 позволяет решать самые разнообразные задачи функциональной геномики растений, включая инженерию устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам, повышение урожайности и качества продукции. Она превосходит большинство известных методов улучшения сортов по признакам, имеющим моно- или полигенный контроль, поскольку дает возможность одновременного изменения нескольких генов, что актуально для полиплоидных видов. Неотъемлемой частью геномного редактирования растений, как и технологий гаплоидогенеза, является культура клеток и тканей *in vitro*, что открывает возможность их комбинирования. Сочетание технологий позволяет напрямую получать гомозиготные растения с новыми ген-специфичными мутациями, что обеспечивает увеличение генетического разнообразия и ускоряет отбор линейного материала, несущего новые хозяйственно полезные признаки. В представленном обзоре обобщен опыт комбинирования методов гаплоидии и геномного редактирования у колосовых злаков семейства *Triticeae*. Помимо анализа современного состояния, рассмотрены перспективы дальнейшего развития технологий получения гаплоидов пшеницы, ячменя, тритикале и ржи с отредактированным геномом.

Ключевые слова: пшеница, ячмень, рожь, тритикале, редактирование генома, CRISPR/Cas (clustered regularly interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated protein – эндонуклеазы Cas, ассоциированные с короткими палиндромными повторами), TALEN (transcription activator-like effector nucleases – эффекторные нуклеазы, подобные активаторам транскрипции), ZFN (Zinc-finger nucleases – цинково-пальцевые нуклеазы), дигаплоиды.

Для цитирования: Жильцов А. В., Чекалин А. А., Попова О. В., Дуванов И. В., Мирошниченко Д. Н. Перспективы сочетания методов гаплоидной биотехнологии и редактирования геномов для совершенствования колосовых злаков семейства *Triticeae* (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 18–26. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-18-26.



PROSPECTS FOR COMBINING THE METHODS OF HAPLOID BIOTECHNOLOGY AND GENOME EDITING TO IMPROVE SPIKED GRAINS OF THE *TRITICEAE* FAMILY (REVIEW)

A. V. Zhiltsov¹, junior researcher of the of the laboratory for cell biotechnologies of grain embryo genesis, zhiltsoff.sasha2013@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0004-3080-5077;

A. A. Chekalin¹, of the laboratory for cell biotechnologies of grain embryo genesis, sasha.chekalin.98@mail.ru, ORCID ID: 0009-0004-7052-0789;

O. V. Popova¹, laboratory assistant-researcher of the laboratory for cell biotechnologies of grain embryo genesis;

I. V. Duvanov¹, researcher of the laboratory for cell biotechnologies of grain embryo genesis, biotechduvanov@yandex.ru, ORCID ID: 0009-0007-3406-6277;

D. N. Miroshnichenko^{1,2}, Candidate of Biological Sciences, head of the laboratory for cell biotechnologies of grain embryo genesis of the FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka", senior researcher of the laboratory for plant genetic engineering of the FSBSI "All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology", miroshnichenko@bibch.ru, ORCID ID: 0000-0003-3975-7484

¹FSBSI "Federal Research Center "Nemchinovka",

143026, Moscow region, Odintsovsky region, Odintsovsky district, v. of Novoivanovskoe, Agrokhimikov Str., 6;

²FSBSI "All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology" (FSBSI ARRIAB),

127550, Moscow, Timiryazevskaya Str., 42; e-mail: iab@iab.ac.ru

Over the past few decades, haploid biotechnologies have become an integral part of breeding programs for many crops. Using the strategy of doubling haploids induced in the culture of gametic cells and tissues *in vitro*, through androgenesis, gynogenesis and distant hybridization, it became possible to significantly reduce the time for developing new varieties. Using the technology of doubled haploids, within one or two generations, it is possible to obtain aligned homozygous lines, which can both help speed up the breeding process and study several scientific and practical issues. Another promising tool for developing lines and samples with specified traits within several generations is genome editing (engineering) using various nuclease-based engineering complexes. The CRISPR/Cas9 genome editing technology, which came into use ten years ago, allows solving a wide variety of problems in plant functional genomics, including engineering resistance to biotic and abiotic stresses, improving productivity and product quality. The technology is better than the most known methods for improving varieties for the traits which have mono- or polygenic control, since it allows changing several genes simultaneously, which is important for polyploid species. An integral part of plant genome editing, as well as haploidogenesis technologies, is cell and tissue culture *in vitro*, which gives possibility for their combination. The combination of technologies allows producing homozygous plants with new gene-specific mutations, which improves genetic diversity and accelerates the selection of linear material with new economically valuable traits. The current review has summarized the experience of combining haploidy and genome editing methods in spiked grains of the *Triticeae* family. In addition to analyzing the current state, there have been considered the prospects for further development of technologies for obtaining haploids of wheat, barley, triticale, and rye with an edited genome.

Keywords: wheat, barley, oats, triticale, genome editing (engineering), CRISPR/Cas (clustered regularly interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated protein), TALEN (transcription activator-like effector nucleases), ZFN (Zinc-finger nucleases), dihaploids.

Введение. Развитие гаплоидных биотехнологий в конце XX века оказало серьезное влияние на генетические исследования, направленные на совершенствование сортиментов с.-х. культур, в том числе колосовых злаков, относящихся к семейству *Triticeae*. Индукция гаплоидных растений пшеницы, ячменя, ржи и тритикале в культуре клеток и тканей *in vitro* с последующим удвоением хромосом позволяет получить элитные линии, которые обладают низким генетическим расщеплением и устойчиво сохраняют признаки родительских форм. Внедрение технологии массового получения гаплоидных растений способствовало сокращению срока создания современных высокопродуктивных сортов. Они позволили преодолеть одно из «узких мест» традиционной селекции, а именно: необходимость выращивания большого числа гибридных поколений для получения гомозиготных форм. За сравнительно короткий срок стало возможным выявление константных гибридов первого поколения с целевой комбинацией генов. Увеличилась точность и эффективность отбора, при этом уменьшился объем анализируемой популяции.

В настоящее время существует два основных способа получения гаплоидных растений семейства *Triticeae*: андрогенез (андроклиния) и отдаленная гибридизация (Калинина и др., 2020). Андроклинные гаплоиды получают путем культивирования *in vitro* изолированных

пыльников или незрелых микроспор на специализированных питательных средах, призванных инициировать из гаметных клеток эмбриоподобные структуры. Образовавшиеся андроклинные эмбриониды в дальнейшем стимулируют к развитию в гаплоидные растения, которые благодаря спонтанному или чаще искусственному удвоению хромосом способны развиваться в фертильные удвоенные гаплоидные растения, часто называемые в литературе дигаплоидами (DH).

Метод отдаленной гибридизации предполагает опыление пыльцой чужеродного вида-опылителя, зачастую называемого гаплопродюсером. Благодаря проявлению постгаметной несовместимости происходит селективная элиминация хромосом опылителя. При этом в результате воздействия эндогенных фитогормонов после опыления формируется гаплоидный зародыш. Несмотря на то что гаплоидные зародыши нежизнеспособны из-за отсутствия эндосперма, при своевременном изолировании и дальнейшем культивировании на питательных средах *in vitro* (в литературе такой подход часто называют *embryo rescue*) они могут регенерировать полноценные гаплоидные растения.

Каждый из описанных способов имеет свои преимущества и недостатки. Тем не менее успешное внедрение гаплоидных биотехнологий в селекционную практику уже привело

к появлению в различных странах мира новых высокопродуктивных сортов, в первую очередь пшеницы и ячменя (Hale et al., 2022).

Постоянно растущие потребности человечества в обеспечении продовольствием, а также изменения климата и ухудшение экологической ситуации обуславливают необходимость в новых разработках для ускорения селекции. К таким новым биотехнологиям можно отнести методы редактирования ДНК, обычно называемые редактированием генома, которые обрели широкое применение в генетике растений после появления технологии CRISPR/Cas9 (Tang et al., 2023). Редактирование генома растений достигается за счет разрезания нитей ДНК нуклеазами различных типов, которые направляются к определенному гену-мишени гидовой (или направляющей) РНК (sgRNA), комплементарной последовательности гена-мишени. Для редактирования генома растений в настоящее время используют три класса нуклеаз – нуклеазы «цинковые пальцы» ZFN, эффекторные нуклеазы, подобные активаторам транскрипции TALEN, и эндонуклеазы Cas, ассоциированные с короткими палиндромными повторами (CRISPR) (Злобин и др., 2017; Gaj et al., 2016). Цинково-пальцевые нуклеазы (ZFN) представляют собой тип белка, состоящего из белкового домена, обеспечивающего связывание с ДНК, и домена нуклеазы для разрезания ДНК. Подобно ZFN, TALEN также используются для создания двуцепочечных разрывов в ДНК с целью коррекции генетической информации. В свою очередь, CRISPR/Cas предоставляет собой систему редактирования генома, состоящую из Cas-белка, который связывается с ДНК, и гидовой РНК, направляющей Cas-белок к участку генома для изменений. На данный момент наибольшее распространение получила технология CRISPR/Cas9, которую можно успешно использовать как для модельных видов, так и для важнейших с.-х. культур (Tang et al., 2023). Несмотря на то что технологии редактирования генома используются генетиками и биотехнологами всего 10 лет, уже достигнуты большие методологические и практические успехи ее применения, в том числе для зерновых культур, чему посвящено большое число экспериментальных и обзорных работ последних лет (Ahmar et al., 2023).

Технологии редактирования генома растений постоянно совершенствуются. В настоящее время они позволяют вносить точечные мутации (делеции, или вставки, одного или нескольких нуклеотидов), протяженные делеции (от десятков до сотен нуклеотидов), замену одного типа нуклеотида на другой ($T \rightarrow C$, $A \rightarrow G$ и т.п.), замену определенной нуклеотидной последовательности на другую. Технологии редактирования генома успешно применяются для внесения целевых мутаций в один ген или сразу в несколько генов (гомологических или негомологических), которые могут присутствовать как на одной, так и на нескольких хромосомах, в том числе у растений с полиплоидным гено-

мом. Последний аспект важен для зерновых колосовых злаков, среди которых пшеница и тритикале являются полиплоидными видами со сложной организацией генома. Важно отметить, что геномное редактирование изменяет только целевые генетические последовательности и не затрагивает остальную генетическую информацию.

Тем не менее, как и любая развивающаяся технология, она имеет ряд недостатков. Один из них заключается в том, что для получения растений с отредактированным геномом используются методы генетической инженерии и трансгенеза растений. Подавляющее большинство первичных растений, полученных с помощью технологий редактирования генома, представляют собой трансгенные организмы и не могут быть вовлечены напрямую в селекционный процесс (Мирошниченко и др., 2019). Другая проблема заключается в том, что в результате геномного редактирования чаще всего происходит индукция моноаллельных мутаций. При этом получить мутантное растение, в котором успешно инициировано редактирование сразу во всех аллелях, достаточно проблематично, особенно если это касается полиплоидных видов. Даже если удастся индуцировать биаллельные мутации, когда каждая аллель становится отредактированной, но несет отличающиеся мутации, в последующем поколении происходит расщепление, которое может не дать ожидаемого эффекта.

В этой связи сочетание геномного редактирования с технологией гаплоидогенеза может в первую очередь преодолеть проблему гетерозиготности растений с отредактированным геномом. Более того, как показывают некоторые пилотные исследования, подключение методов гаплоидогенеза позволит в некоторых случаях избежать трансгенеза, поскольку компоненты геномного редактирования доставляются в клетки транзигентно, то есть без стабильной вставки в геном растений. Настоящий обзор сфокусирован на экспериментальных достижениях, появившихся в научной печати в последние годы и посвященных сочетанию двух указанных биотехнологий с целью получения мутантных растений – колосовых злаков, в первую очередь ячменя и пшеницы. Кроме того, в обзоре обсуждаются перспективы совместного применения технологий геномного редактирования и гаплоидогенеза для злаков семейства *Triticeae*, играющих важную роль в растениеводстве России.

Ячмень. Среди злаков семейства *Triticeae* ячмень – первая культура, для которой показана возможность успешного сочетания технологий гаплоидогенеза и геномного редактирования. В 2014 г. группа исследователей из Института генетики растений и исследований культурных растений им. Лейбница (г. Гатерслебен, Германия) показала принципиальную возможность редактирования гаплоидного генома ячменя с помощью экспрессии TALEN нуклеаз в клетках, полученных в куль-

туре микроспор (Gurushidze et al., 2014). В экспериментах использовали трансгенные линии озимого ячменя 'Igri', содержащие функциональную копию гена зеленого флуоресцентного белка *GFP*. Для нокаута этого гена с помощью агробактериальной трансформации в эмбриогенную пыльцу трансгенного ячменя переносили вектор для экспрессии двух *GFP* специфичных комплексов TALEN. Благодаря гаплоидному характеру клеток-мишеней те клетки, в которых произошла нокаутирующая мутация, можно было легко выявить по отсутствию характерной флуоресценции. Из таких клеток авторы успешно регенерировали первичные гаплоидные мутантные растения, которые после дублирования генома колхцином сформировали полноценные фертильные гомозиготные дигаплоиды. При этом 22 % дигаплоидных растений несли целевые делеции длиной от 4 до 36 нуклеотидов, позволившие «выключить» ген *GFP* (Gurushidze et al., 2014). В дальнейшем, чтобы повысить эффективность мутагенеза, исследователи модифицировали свой протокол. Изменения состояли в том, что отдельные блоки TALEN с помощью агробактерий переносили в гаплоидные клетки ячменя, чтобы регенерировать гомозиготные дигаплоидные трансгенные линии, каждая из которых несет только одну единицу из пары TALEN (Gurushidze et al., 2017). Дальнейшее скрещивание трансгенных растений приводило к объединению обеих единиц TALEN, что вызывало их активацию во время ранних этапов зиготического эмбриогенеза. Благодаря чему эффективность сайт-направленного мутагенеза у гибридных растений достигается 62,5–100 %. Протоколы не нашли дальнейшего развития, поскольку на смену громоздким TALEN комплексам пришла менее громоздкая и более эффективная технология редактирования CRISPR/Cas9, которая сейчас стала доминирующей в работах по геномному редактированию растений.

В 2020 г. группа исследователей из нескольких университетов Австралии предложила свой протокол геномного редактирования ячменя, сочетающий CRISPR/Cas9 подход и гаплоидию, основанную на культуре пыльников (Han et al., 2021). Протокол был протестирован на модельном сорте 'Golden Promise' и четырех австралийских сортах ячменя, которые отличались фенологией, эффективностью индукции эмбриогенного каллуса и способностью к регенерации не альбиносных растений. Каллус, индуцированный из культивируемых пыльников с помощью агробактерий, трансформировали векторами, несущими последовательности нуклеазы Cas9 и различные sgRNA. Протокол, предложенный авторами, позволяет получать полноценные дигаплоиды через 35 недель после посева F_1 семян. При этом выход растений, несущих целевые мутации, составляет в среднем 53 %, колеблясь от 35 до 75 % у отдельных сортов в зависимости от гена-мишени (Han et al., 2021).

Предыдущие сообщения представляют собой по большей части методологические исследования, в которых авторы пытались различными способами увеличить эффективность разрабатываемых протоколов на «модельных» генах. Тогда как в работах Hoffie et al. (2021) культуру изолированных микроспор комбинировали с технологией геномного редактирования CRISPR/Cas9 для получения вирусостойчивых растений ячменя. Так, в результате нокаута одного из генов семейства факторов инициации трансляции *HvEIF4E* были получены дигаплоидные растения ячменя 'Igri', семенное потомство которых неизменно оказывалось гомозиготным и полностью устойчивым к механической инокуляции вирусом BaMMV (Barley mild mosaic virus), который в неблагоприятные годы может поражать до 50 % посевов озимого ячменя в зонах умеренного климата. К сожалению, «выключение» *HvEIF4E*, вовлеченного в различные процессы роста и развития растений, негативно сказалось на продуктивности ячменя, в результате чего сократилось число зерен в колосе и уменьшилась урожайность. В перспективе этот недостаток можно преодолеть. В недавней публикации та же группа исследователей использовала в качестве мишени для геномного редактирования ген PDIL5-1, потеря функциональности которого обуславливает устойчивость диких видов ячменя к различным вирусам (Hoffie et al., 2023). Это позволило достичь стабильной устойчивости к BaMMV у двух культурных сортов ячменя. При этом редактирование гена PDIL5-1 (нокаут через сдвиг рамки считывания) не сказалось отрицательно на росте и урожайности растений как в условиях теплицы, так и в условиях поля.

Пшеница. Первое сообщение об успешном комбинировании гаплоидии пшеницы и направленного мутагенеза с использованием систем геномного редактирования появилось в 2018 году. В исследовании Bhowmik (Bhowmik et al., 2018) была представлена система индукции генетических модификаций в генах *TaLox2* и *TaUbiL1* с помощью трансфекции микроспор пшеницы векторами, кодирующими компоненты CRISPR/Cas9. Исследования концентрировались на оптимизации условий трансфекции ДНК в гаплоидные клетки методом электропорации, поэтому о регенерации полноценных гаплоидных растений не сообщалось. В последующей публикации авторы утверждали, что мутантные клетки дали начало полноценным гаплоидным растениям, однако документальных подтверждений представлено не было (Bhowmik and Islam, 2020).

В конце 2019 г. американо-канадская группа исследователей представила совместную разработку биотехнологических компаний DowDuPont и Agri-Food Canada по редактированию генома мягкой пшеницы путем доставки ZEN нуклеаз в культивируемые микроспоры (Bilichak et al., 2020). В качестве мишени был выбран ген *IPK1*, продукт которого запускает последний этап биосинтеза фитиевой кисло-

ты, снижение содержания которой увеличивает накопление железа и цинка в зернах. Чтобы избежать трансгенеза, ZEN-опосредованная система редактирования была сконструирована в виде пептидного комплекса, способного проникать в клетки в результате трансфекции. Авторы успешно подтвердили изменения в целевом локусе *IPK1* как при трансфекции микроспор, так и клеток эмбрионоподобных структур, сформировавшихся из микроспор. Любопытно, что ZFN-IPK1 комплекс создавался для внесения мутаций в высоко консервативную область обоих гомеологов в субгеномах А и В. Однако сайт-специфичные изменения обнаруживались преимущественно в *IPK1* последовательности субгенома А. Как и в исследовании предыдущих авторов, регенерация полноценных гаплоидных растений представлена не была. Низкая эффективность и определенные сложности при конструировании ZEN-содержащих пептидных комплексов делают этот метод малоперспективным.

Одним из распространенных и эффективных способов получения гаплоидных растений пшеницы является опыление пыльцой кукурузы, которая выступает в качестве гаплопродюсера. В 2019 г. исследовательская группа компании Syngenta (США) опубликовала работу о получении линии-индуктора кукурузы, которую можно использовать для получения дигаплоидов различных видов растений одновременно с редактированием их генома (Kelliher et al., 2019). Несмотря на то, что главная задача исследований заключалась в разработке технологии прямого редактирования элитных инбредных линий кукурузы путем скрещивания с линией-индуктором, в пыльце которой присутствовали компоненты редактирующего комплекса CRISPR/Cas9, авторы также показали возможность ее применения для опыления пшеницы и индукции мутаций в геноме образовавшихся гаплоидных зародышей. Для этого линию-индуктор кукурузы (NP2222) трансформировали векторами, экспрессирующими *Cas9* и гидовую РНК, нацеленную на гомеологи *TaGT1-4A*, *TaGT1-4B* и *TaGT1-4D* пшеницы, которые являются ортологами *GRASSY TILLER1* генов кукурузы. После опыления пыльцой трансгенной кукурузы двух сортов пшеницы среди 298 гаплоидных растений два гаплоида одного из сортов содержали мутации в *TaGT1-4B* гене. Несмотря на низкую эффективность (0,7 %), мутантные гаплоидные растения пшеницы не содержали чужеродных последовательностей *Cas9* и sgRNA, так как в результате аберрантного репродуктивного процесса в развивающемся зародыше остается только гаплоидный набор хромосом материнского родителя. В надежде повысить эффективность выхода гаплоидных растений мягкой пшеницы с отредактированным геномом были созданы новые трансгенные растения кукурузы, в которых для увеличения активности *Cas9* использовали промоторы генов *BETA EXPANSINs* и *PROFILIN3*, обладающих повышенной экс-

прессией в кукурузной пыльце. Использование *prPROFILIN3:Cas9* кассеты экспрессии позволило несколько увеличить выход мутантных гаплоидных растений пшеницы мягкой пшеницы AC Nanda до 1,8%, тогда как опыление цветков одной из ЦМС линий пшеницы не дало положительного результата (Kelliher et al., 2019).

Спустя короткое время методология совместного применения сайт-направленного мутагенеза и индукции гаплоидов получила значительное развитие в работе Budhagatapalli и др. (Budhagatapalli et al., 2020). Используя систему CRISPR/Cas9 для внесения мутаций в гены *TaBRI1* и *TaSD1*, контролирующих высоту растений, исследователи достигли более эффективного редактирования генов при формировании гаплоидных зародышей. Авторы идентифицировали 15 независимых мутантных гаплоидных растений у шести генотипов пшеницы, включая три яровых и один озимый сорта гексаплоидной мягкой пшеницы, а также двух генотипов тетраплоидной твердой пшеницы. Эффективность формирования мутантных гаплоидов в среднем составила 8,6 %, колеблясь от 3,6 до 50 % у различных генотипов. При этом сорта твердой пшеницы проявляли более низкую эффективность. Поскольку гены-мишени *BRI1* и *SD1* достаточно консервативны, мутации были успешно индуцированы во всех трех гомеологах (А, В, D). Однако нокаутировать все гомеологи одновременно в одном растении не удалось. По мнению авторов, это может быть следствием того, что полная потеря функциональности *BRI1* и *SD1* не позволяет развиваться гаплоидным зародышам, поскольку гомозиготные M_2 поколения дигаплоидных мутантов, несущие мутации в одном гомеологе, демонстрировали снижение высоты растений и длины колоса (Budhagatapalli et al., 2020). В целом разработанный методологический подход снизил генотипическую зависимость при получении гаплоидных растений, показал возможность создания ряда новых мутаций с использованием всего лишь одного *Cas9/gRNA*-трансгенного растения (опылителя) кукурузы. При этом дигаплоидные растения и их гомозиготное потомство M_1 – M_2 не содержали чужеродную Т-ДНК.

Недавняя работа группы североамериканских исследователей показала, что эффективность выхода мутантных гаплоидных растений в системах гибридизации *T.aestivum* × *Z.mays* может меняться в зависимости от выбора промотора для экспрессии *Cas9/gRNA* кассет в растениях кукурузы (Karmacharya et al., 2023). Для достижения высокой эффективности редактирования генов применение промотора *U3* пшеницы (*TaU3p*) для управления экспрессией гидовых РНК оказалось лучшим выбором в сравнении с промотором *U3* риса, похожим по действию. В работе также продемонстрирована возможность одновременного включения двух локусов *TaHRC-R* и *TaHRC-S* восприимчивости пшеницы к болезням. При включении в кассету экспрессии гидовых РНК, направленных на сайт-специфическую модификацию каж-

дого из локусов, эффективность выхода двойных мутантных дигаплоидов составила 7,7 %. При этом эффективность мутагенеза по отдельным локусам достигла 27–33 %. При использовании системы гибридизации *T.aestivum* x *Z.mays* авторы также продемонстрировали высокую эффективность мутагенеза гена *Tsn1*, известного своим участием в обеспечении устойчивости пшеницы к различным фитопатогенам. Выход мутантных гаплоидов составил 15–18 %. Несмотря на то что в исследовании не представлены результаты устойчивости к фитопатогенам, авторы надеются ее продемонстрировать в поколениях дигаплоидных мутантов, поскольку устойчивые генотипы и линии пшеницы, нокаутные по этим генам, уже обнаружены у некоторых сортов и используются в селекции (Karmacharya et al., 2023).

Другие представители Triticeae. Среди представителей семейства *Triticeae* рожь (*Secale*) и тритикале (x *Triticosecale*) имеют немаловажное значение в с.-х. производстве России и многих других стран. Тем не менее в отличие от ячменя и пшеницы, у которых совокупное число работ по редактированию различных целевых генов приближается к первой сотне, первое сообщение об успешном редактировании генов тритикале появилось лишь в 2024 г. (Miroshnichenko et al., 2024). Для ржи до сих пор нет ни одного сообщения об успешном применении какой-либо системы редактирования. Причин этому несколько. Рожь является одним из непокорных злаков в культуре клеток и тканей *in vitro*. Методы получения дигаплоидов в культуре пыльников сортов ржи описаны (Deimling and Flehminghaus-Roux, 1997). Однако их эффективность значительно уступает в сравнении с ячменем и пшеницей. Тритикале, рукотворный ржано-пшеничный гибрид, в последние годы обгоняет по посевным площадям рожь и приобретает все большую популярность в различных странах мира как кормовая, техническая и зерновая культура. У тритикале благодаря присутствию генома пшеницы эффективность гаплоидных технологий выше, чем у ржи. Принимая во внимание, что регенерация гаплоидных растений тритикале возможна как методом андрогенеза, так и в системах гибридизации «тритикале x кукуруза» (Дьячук и др., 2022), эти подходы могут вскоре найти свое применение для редактирования генома тритикале.

Перспективы. Анализ литературных источников показывает, что сочетание технологий редактирования генома и гаплоидной технологии находится в активной фазе становления для колосовых зерновых культур. Над этим работают как отдельные научные исследовательские группы разных стран, так и крупные биотехнологические компании, вовлеченные в селекцию и семеноводство. Очевидные методологические успехи уже просматриваются у пшеницы, в первую очередь благодаря использованию систем гибридизации «пшеница x кукуруза», когда ген-мишень пшеницы

редактируется комплексом CRISPR/Cas9, активированным в кукурузе. Такой подход позволяет избежать генотипической зависимости, которая присутствует при геномном редактировании пшеницы, поскольку лишь ограниченное число сортов подходит для генетической трансформации. Однажды полученную линию-гаплопродюсер кукурузы можно многократно использовать. Главное, чтобы гены-мишени у редактируемых видов и сортов пшеницы были комплементарны последовательности гидовой РНК, которая экспрессируется в линии-индукторе. Получаемые при этом гаплоидные растения не содержат чужеродных вставок вследствие естественной элиминации хромосом опылителя, а дигаплоидизация переводит индуцированные мутации в гомозиготное состояние. В совокупности все это открывает возможность прямого вовлечения дигаплоидных линий, содержащих отредактированные гены, непосредственно в селекционный процесс. В силу накопленного за прошедшее десятилетие опыта редактирования и наличия достаточно большого числа перспективных генов-кандидатов (Кулуев и др., 2022; Ухатова и др., 2023; Ahmar et al., 2023) следует ожидать быстрого развития этого направления для пшеницы. Учитывая, что гаплоидию на основе гибридизации кукурузой можно адаптировать для различных сортов тритикале, просматриваются перспективы использования аналогичного подхода для редактирования генома тритикале.

Использование гаплоиндукции на основе различных подходов андрогенеза в сочетании с геномным редактированием имеет перспективы дальнейшего развития, особенно для ячменя и ржи. Для этих злаков использование систем на основе различных гаплопродюсеров, например, «*Secale* x *Z.mays*» или «*H. vulgare* x *H. bulbosum*», значительно менее технологично и уступает в эффективности получения гаплоидов системам на основе культуры пыльников и микроспор. Технологии редактирования геномов растений совершенствуются быстро. Одним из перспективных вариантов может рассматриваться транзитное внесение компонентов геномного редактирования в виде комплексов РНК или белок-РНК в эмбрионные гаплоидные клетки. Комплексы белок-РНК, часто называемые в литературе рибонуклеопротеидными (РНП), уже успешно применяются для геномного редактирования пшеницы, риса и кукурузы, не требующего трансгенных вставок (Tang et al., 2023; Мирошнichenko и др., 2019). Такие комплексы обычно транзитно доставляются в клетки культуры пыльников и микроспор с помощью метода биобаллистики. Этот метод уже более 40 лет используется для получения трансгенных растений зерновых культур. Описаны протоколы биобаллистической доставки ДНК и плазмид в клетки и ткани культуры пыльников и микроспор ряда колосовых видов злаков с последующей регенерацией трансгенных гаплоидных расте-

ний (Ohnoutková and Vlčko, 2020; Massiah et al., 2001). В ближайшее время можно ожидать адаптации этих протоколов для редактирования геномов ячменя, пшеницы и, возможно, тритикале и ржи, с помощью РНП комплексов,

которые будут транзигентно доставляться в гаплоидные эмбриогенные клетки или каллусы, из которых в дальнейшем удастся получить нетрансгенные гаплоидные растения с новыми мутациями.

Библиографические ссылки

1. Дьячук Т. И., Акинина В. Н., Жилин С. В., Хомякова О. В., Барнашова Е. К., Калашникова Э. В., Окладникова В. П. Гаплоидия тритикале *In vitro* (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2022. № 1. С. 39–45. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-39-45
2. Злобин Н. Е., Терновой В. В., Гребенкина Н. А., Таранов В. В. Сделать сложное проще: современный инструментарий для редактирования генома растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21, № 1. С. 104–111. DOI: 10.18699/VJ17.228
3. Калинина Н. В., Головкин С. Г., Ионова Е. В. Методы получения гаплоидов в клеточной селекции озимой пшеницы (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6. С. 56–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-56-63
4. Кулуев Б. Р., Михайлова Е. В., Кулуев А. Р., Галимова А. А., Заикина Е. А., Хлесткина Е. К. Редактирование геномов представителей трибы пшеницевые с использованием системы CRISPR/Cas // Молекулярная биология. 2022. Т. 56, № 6. С. 949–968. DOI: 10.31857/S0026898422060155
5. Мирошниченко Д. Н., Шульга О. А., Тимербаев В. Р., Долгов С. В. Достижения, проблемы и перспективы получения нетрансгенных растений с отредактированным геномом // Биотехнология. 2019. Т. 35, № 1. С. 3–26. DOI: 10.21519/0234-2758-2019-35-1-3-26
6. Ухатова Ю. В., Ерастенкова М. В., Коршикова Е. С., Крылова Е. А., Михайлова А. С., Семилет Т. В., Хлесткина Е. К. Улучшение культурных растений при помощи системы CRISPR/Cas: новые гены-мишени // Молекулярная биология. 2023. Т. 57, № 3. С. 387–410. DOI: 10.31857/S0026898423030151
7. Ahmar S., Hensel G., Gruszka D. CRISPR/Cas9-mediated genome editing techniques and new breeding strategies in cereals-current status, improvements, and perspectives // Biotechnology Advances. 2023. Vol. 69, Article number: 108248. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2023.108248
8. Bhowmik P. K., Islam M. T. CRISPR-Cas9-Mediated gene editing in wheat: A step-by-step protocol // In book: CRISPR-Cas Methods: Springer Protocols Handbooks. Humana. New York. 2020. P. 203–222. DOI: 10.1007/978-1-0716-0616-2_13
9. Bhowmik P., Ellison E., Polley B., Bollina V., Kulkarni M., Ghanbarnia K., Kagale S. Targeted mutagenesis in wheat microspores using CRISPR/Cas9 // Scientific reports. 2018. Vol. 8, Article number: 6502. DOI: 10.1038/s41598-018-24690-8
10. Bilichak A., Sastry-Dent L., Sriram S., Simpson M., Samuel P., Webb S., Eudes F. Genome editing in wheat microspores and haploid embryos mediated by delivery of ZFN proteins and cell-penetrating peptide complexes // Plant Biotechnology Journal. 2020. Vol. 18, Iss. 5. P. 1307–1316. DOI: 10.1111/pbi.13296
11. Budhagatapalli N., Halbach T., Hiekel S., Büchner H., Müller A. E., Kumlehn J. Site-directed mutagenesis in bread and durum wheat via pollination by cas9/guide RNA-transgenic maize used as haploidy inducer // Plant Biotechnology Journal. 2020. Vol. 18, Iss. 12. P. 2376–2378. DOI: 10.1111/pbi.13415
12. Deimling S., Flehminghaus-Roux T. Haploidy in rye // In vitro haploid production in higher plants. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture / Ed. by S. M. Jain, S. K. Sopory, R. E. Veilleux. Springer, Dordrecht. 1997. Vol. 26. P. 181–204. DOI: 10.1007/978-94-017-1862-2_10
13. Gaj T., Sirk S. J., Shui S. L., Liu J. Genome-editing technologies: principles and applications // Cold Spring Harbor perspectives in biology. 2016. Vol. 8, Iss. 12. Article number: a023754. DOI: 10.1101/cshperspect.a023754
14. Gurushidze M., Hensel G., Hiekel S., Schedel S., Valkov V., Kumlehn J. True-breeding targeted gene knock-out in barley using designer TALE-nuclease in haploid cells // PloS one. 2014. Vol. 9, Iss. 3. Article number: e92046. DOI: 10.1371/journal.pone.0092046
15. Gurushidze M., Hiekel S., Otto I., Hensel G., Kumlehn J. Site-directed mutagenesis in barley by expression of TALE nuclease in embryogenic pollen // Biotechnologies for Plant Mutation Breeding / ed. by J. Jankowicz-Cieslak, T. Tai, J. Kumlehn, B. Till. Springer, Cham. 2017. P. 113–128. DOI: 10.1007/978-3-319-45021-6_7
16. Hale B., Ferrie A. M., Chellamma S., Samuel J. P., Phillips G. C. Androgenesis-based doubled haploidy: Past, present, and future perspectives // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 12. Article number: 751230. DOI: 10.3389/fpls.2021.751230
17. Han Y., Broughton S., Liu L., Zhang X. Q., Zeng J., He X., Li C. 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
18. Hoffie R. E., Otto I., Hisano H., Kumlehn J. Site-directed mutagenesis in barley using RNA-guided Cas endonucleases during microspore-derived generation of doubled haploids // Doubled Haploid Technology: Methods in Molecular Biology / ed. J. M. Segui-Simarro. Humana. New York. 2021. Vol. 2287. P. 199–214. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3_9
19. Hoffie R. E., Perovic D., Habekuß A., Ordon F., Kumlehn J. Novel resistance to the Bymovirus BaMMV established by targeted mutagenesis of the PDIL5-1 susceptibility gene in barley // Plant Biotechnology Journal. 2023. Vol. 21, Iss. 2. P. 331–341. DOI: 10.1111/pbi.13948
20. Karmacharya A., Li D., Leng Y., Shi G., Liu Z., Yang S., Zhong S. Targeting disease susceptibility genes in wheat through wide hybridization with maize expressing Cas9 and guide RNA // Molecular Plant-Microbe Interactions. 2023. Vol. 36, Iss. 9. P. 554–557. DOI: 10.1094/MPMI-01-23-0004-SC

21. Kelliher T., Starr D., Su X., Tang G., Chen Z., Carter J., Que Q. One-step genome editing of elite crop germplasm during haploid induction // *Nature biotechnology*. 2019. Vol. 37, Iss. 3. P. 287–292. DOI: 10.1038/s41587-019-0038-x
22. Massiah A., Rong H.L., Brown S., Laurie S. Accelerated production and identification of fertile, homozygous transgenic wheat lines by anther culture // *Molecular Breeding*. 2001. Vol. 7, P. 163–173. DOI: 10.1023/A:1011308916226
23. Miroshnichenko D., Timerbaev V., Divashuk M., Pushin A., Alekseeva V., Kroupin P., Dolgov S. CRISPR/Cas9-mediated multiplexed multi-allelic mutagenesis of genes located on A, B and R subgenomes of hexaploid triticale // *Plant Cell Reports*. 2024. Vol. 43, Article number: 59. DOI: 10.1007/s00299-023-03139-x
24. Ohnoutková L., Vlčko T. Homozygous transgenic barley (*Hordeum vulgare* L.) plants by anther culture // *Plants*. 2020. Vol. 9, Iss. 7. Article number: 918. DOI: 10.3390/plants9070918
25. Tang Q., Wang X., Jin X., Peng J., Zhang H., Wang Y. CRISPR/Cas Technology Revolutionizes Crop Breeding // *Plants*. 2023. Vol. 12, Iss. 17. Article number: 3119. DOI: 10.3390/plants12173119

References

1. D'yachuk T. I., Akinina V. N., Zhilin S. V., Khomyakova O. V., Barnashova E. K., Kalashnikova E. V., Okladnikova V. P. Gaploidiya tritikale In vitro (obzor literatury) Triticale haploidy In vitro (review) // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2022. № 1. S. 39-45. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-79-1-39-45
2. Zlobin N. E., Ternovoi V. V., Grebenkina N. A., Taranov V. V. Sdelat' slozhnoe proshche: sovremennyy instrumentarii dlya redaktirovaniya genoma rastenii [Making the complex simpler: modern tools for editing plant genomes] // *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii*. 2017. T. 21, № 1. S. 104–111. DOI: 10.18699/VJ17.228
3. Kalinina N. V., Golovko S. G., Ionova E. V. Metody polucheniya gaploidov v kletochnoi selektsii ozimoi pshenitsy (obzor) [Methods for obtaining haploids in cell breeding of winter wheat (review)] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 6. S. 56–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-56-63
4. Kuluev B. R., Mikhailova E. V., Kuluev A. R., Galimova A. A., Zaikina E. A., Khlestkina E. K. Redaktirovanie genomov predstavitelei triby pshenitsevy s ispol'zovaniem sistemy CRISPR/Cas [Editing the genomes of wheat tribe representatives using the CRISPR/Cas system] // *Molekulyarnaya biologiya*. 2022. T. 56, № 6. S. 949–968. DOI: 10.31857/S0026898422060155
5. Miroshnichenko D. N., Shul'ga O. A., Timerbaev V. R., Dolgov S. V. Dostizheniya, problemy i perspektivy polucheniya netransgennykh rastenii s otrektirovannym genomom [Achievements, problems, and prospects for obtaining non-transgenic plants with edited genomes] // *Biotechnologiya*. 2019. T. 35, № 1. S. 3–26. DOI: 10.21519/0234-2758-2019-35-1-3-26
6. Ukhatova Yu. V., Erastenkova M. V., Korshikova E. S., Krylova E. A., Mikhailova A. S., Semilet T. V., Khlestkina E. K. Uluchshenie kul'turnykh rastenii pri pomoshchi sistemy CRISPR/Cas: novye geny-misheni [Improvement of crop plants using the CRISPR/Cas system: new target genes] // *Molekulyarnaya biologiya*. 2023. T. 57, № 3. S. 387–410. DOI: 10.31857/S0026898423030151
8. Bhowmik P. K., Islam M. T. CRISPR-Cas9-Mediated gene editing in wheat: A step-by-step protocol // In book: *CRISPR-Cas Methods: Springer Protocols Handbooks*. Humana. New York. 2020. P. 203–222. DOI: 10.1007/978-1-0716-0616-2_13
9. Bhowmik P., Ellison E., Polley B., Bollina V., Kulkarni M., Ghanbarnia K., Kagale S. Targeted mutagenesis in wheat microspores using CRISPR/Cas9 // *Scientific reports*. 2018. Vol. 8, Article number: 6502. DOI: 10.1038/s41598-018-24690-8
10. Bilichak A., Sastry-Dent L., Sriram S., Simpson M., Samuel P., Webb S., Eudes F. Genome editing in wheat microspores and haploid embryos mediated by delivery of ZFN proteins and cell-penetrating peptide complexes // *Plant Biotechnology Journal*. 2020. Vol. 18, Iss. 5. P. 1307–1316. DOI: 10.1111/pbi.13296
11. Budhagatapalli N., Halbach T., Hiekel S., Büchner H., Müller A. E., Kumlehn J. Site-directed mutagenesis in bread and durum wheat via pollination by cas9/guide RNA-transgenic maize used as haploidy inducer // *Plant Biotechnology Journal*. 2020. Vol. 18, Iss. 12. P. 2376–2378. DOI: 10.1111/pbi.13415
12. Deimling S., Flehminghaus-Roux T. Haploidy in rye // In *in vitro* haploid production in higher plants. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture / Ed. by S. M. Jain, S. K. Sopory, R. E. Veilleux. Springer, Dordrecht. 1997. Vol. 26, P. 181–204. DOI: 10.1007/978-94-017-1862-2_10
13. Gaj T., Sirk S. J., Shui S. L., Liu J. Genome-editing technologies: principles and applications // *Cold Spring Harbor perspectives in biology*. 2016. Vol. 8, Iss. 12. Article number: a023754. DOI: 10.1101/cshperspect.a023754
14. Gurushidze M., Hensel G., Hiekel S., Schedel S., Valkov V., Kumlehn J. True-breeding targeted gene knock-out in barley using designer TALE-nuclease in haploid cells // *PloS one*. 2014. Vol. 9, Iss. 3. Article number: e92046. DOI: 10.1371/journal.pone.0092046
15. Gurushidze M., Hiekel S., Otto I., Hensel G., Kumlehn J. Site-directed mutagenesis in barley by expression of TALE nuclease in embryogenic pollen // *Biotechnologies for Plant Mutation Breeding* / ed. by J. Jankowicz-Cieslak, T. Tai, J. Kumlehn, B. Till. Springer, Cham. 2017. P. 113–128. DOI: 10.1007/978-3-319-45021-6_7
16. Hale B., Ferrie A. M., Chellamma S., Samuel J. P., Phillips G. C. Androgenesis-based doubled haploidy: Past, present, and future perspectives // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 12, Article number: 751230. DOI: 10.3389/fpls.2021.751230
17. Han Y., Broughton S., Liu L., Zhang X. Q., Zeng J., He X., Li C. 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

18. HOFFIE R.E., OTTO I., HISANO H., KUMLEHN J. Site-directed mutagenesis in barley using RNA-guided Cas endonucleases during microspore-derived generation of doubled haploids // *Doubled Haploid Technology: Methods in Molecular Biology* / ed. J.M. Segui-Simarro. Humana. New York. 2021. Vol. 2287, P. 199–214. DOI: 10.1007/978-1-0716-1315-3_9
19. HOFFIE R.E., PEROVIC D., HABEKUß A., ORDON F., KUMLEHN J. Novel resistance to the Bymovirus BaMMV established by targeted mutagenesis of the PDIL5-1 susceptibility gene in barley // *Plant Biotechnology Journal*. 2023. Vol. 21, Iss. 2. P. 331–341. DOI: 10.1111/pbi.13948
20. KARMACHARYA A., LI D., LENG Y., SHI G., LIU Z., YANG S., ZHONG S. Targeting disease susceptibility genes in wheat through wide hybridization with maize expressing Cas9 and guide RNA // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2023. Vol. 36, Iss. 9. P. 554–557. DOI: 10.1094/MPMI-01-23-0004-SC
21. KELLIHER T., STARR D., SU X., TANG G., CHEN Z., CARTER J., QUE Q. One-step genome editing of elite crop germplasm during haploid induction // *Nature biotechnology*. 2019. Vol. 37, Iss. 3. P. 287–292. DOI: 10.1038/s41587-019-0038-x
22. MASSIAH A., RONG H.L., BROWN S., LAURIE S. Accelerated production and identification of fertile, homozygous transgenic wheat lines by anther culture // *Molecular Breeding*. 2001. Vol. 7, P. 163–173. DOI: 10.1023/A:1011308916226
23. MIROSHNICHENKO D., TIMERBAEV V., DIVASHUK M., PUSHIN A., ALEKSEVA V., KROUPIN P., DOLGOV S. CRISPR/Cas9-mediated multiplexed multi-allelic mutagenesis of genes located on A, B and R subgenomes of hexaploid triticales // *Plant Cell Reports*. 2024. Vol. 43, Article number: 59. DOI: 10.1007/s00299-023-03139-x
24. OHNOUTKOVÁ L., VÍČKO T. Homozygous transgenic barley (*Hordeum vulgare* L.) plants by anther culture // *Plants*. 2020. Vol. 9, Iss. 7. Article number: 918. DOI: 10.3390/plants9070918
25. TANG Q., WANG X., JIN X., PENG J., ZHANG H., WANG Y. CRISPR/Cas Technology Revolutionizes Crop Breeding // *Plants*. 2023. Vol. 12, Iss. 17. Article number: 3119. DOI: 10.3390/plants12173119

Поступила: 26.02.24; доработана после рецензирования: 03.05.24; принята к публикации: 03.05.24.

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. Жильцов А.В., Чекалин А.А., Попова О.В., Дуванов И.В., Мирошниченко Д.Н. – анализ литературы и написание обзора.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ СОРТОВ ЯРОВОЙ ВИКИ (*VICIA SATIVA* L.) В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Ф. А. Давлетов¹, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кормовых и зерновых культур, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;

К. П. Гайнуллина^{1,2}, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией селекции и семеноводства кормовых и зерновых культур, старший научный сотрудник лаборатории геномики растений, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;

И. Г. Мустафин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, oph_ufimskoe@mail.ru;

И. Р. Юлдыбаев³, аспирант, yuldubaev290997@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1103-0212

¹Опытная станция «Уфимская» – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450535, Республика Башкортостан, Уфимский район, с. Чернопесовский, ул. Тополиная, 1;

²Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450054, Республика Башкортостан, г. Уфа, пр-кт Октября, 71/1Е;

³Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», 450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

Вика посевная яровая – ценное бобовое растение, которое служит источником высокобелковых кормов для сельскохозяйственных животных, а за счет способности к азотфиксации является хорошим сидератом. Возделывание данной культуры играет важную роль в решении проблемы дефицита растительного протеина, но в Предуральской степи Республики Башкортостан урожайность семян и зеленой массы вики невысокая и нестабильная по годам. В связи с этим целью исследования стала оценка потенциальной продуктивности сортов вики яровой, перспективных для выращивания в почвенно-климатических условиях нашего региона. Полевые опыты закладывали в 2021–2023 годах. Метеорологические условия в годы изучения контрастно различались по температурному режиму и влагообеспеченности. Материалом для исследования послужили сорта вики посевной яровой Омичка 3, Орловская 91, Луговская 98, Львовская 22, Юбилейная 110, Узуновская 8, Валентина, рекомендованные для возделывания в Уральском регионе РФ. Оценки, учеты и измерения проводили в соответствии с Методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур (1975) и Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). В результате исследований было установлено, что в условиях Республики Башкортостан наиболее скороспелыми оказались сорта вики яровой Львовская 22, Омичка 3, Узуновская 8 с продолжительностью вегетационного периода $74,3 \pm 11,6$ – $75,7 \pm 12,1$ сут. По показателям основных элементов структуры урожая выделились сорта Валентина, Узуновская 8, Юбилейная 110, характеризующиеся высоким числом бобов на растении ($4,4 \pm 0,7$ – $4,9 \pm 1,3$ шт.), семян с растения ($18,1 \pm 5,9$ – $18,5 \pm 6,8$ шт.), семенной продуктивностью ($0,90 \pm 0,26$ – $0,96 \pm 0,27$ г). По данным нашего исследования наиболее перспективными для производственного освоения в условиях Республики Башкортостан являются сорта Узуновская 8 и Валентина, которые в среднем за 2021–2023 гг. отличались наибольшей урожайностью зерна ($1,25$ – $1,29$ т/га), зеленой массы ($6,40$ – $6,53$ т/га) и сена ($1,61$ – $1,65$ т/га).

Ключевые слова: вика яровая, вегетационный период, семенная продуктивность, урожайность зерна, урожайность зеленой массы.

Для цитирования: Давлетов Ф. А., Гайнуллина К. П., Мустафин И. Г., Юлдыбаев И. Р. Результаты изучения сортов яровой вики (*Vicia sativa* L.) в условиях Республики Башкортостан // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 27–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-27-32.



STUDY RESULTS OF THE SPRING VETCH VARIETIES (*VICIA SATIVA* L.) IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

F. A. Davletov¹, Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of forage and grain crops, davletovfa@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7421-869X;

K. P. Gainullina^{1,2}, Candidate of Biological Sciences, head of the laboratory for breeding and seed production of forage and grain crops, senior researcher of the laboratory for plant genomics, karina28021985@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6246-1214;

I. G. Mustafin¹, Candidate of Agricultural Sciences, head, oph_ufimskoe@mail.ru;

I. R. Yuldybaev³, post-graduate, yuldubaev290997@gmail.com, ORCID ID: 0009-0007-1103-0212

¹Experimental Station “Ufimskaya”, a separate structural subdivision of the FSBSI of the Ufa Federal Research Center of the RAS, 450535, Republic of Bashkortostan, Ufa region, v. of Chernolesovsky, Topolinaya Str., 1;

²*Institute of Biochemistry and Genetics, a separate structural subdivision of the FSBSI of the Ufa Federal Research Center of the RAS, 450054, Republic of Bashkortostan, Ufa, Oktyabrya Avenue, 71, lit. 1E*

³*FSBEI HE "Bashkirsky State Agricultural University", 450001, Republic of Bashkortostan, Ufa, 50-letie Oktyabrya Str., 34*

Spring vetch is a valuable leguminous plant that serves as a source of high-protein feed for farm animals, and due to its ability to fix nitrogen, it is a good green manure. The cultivation of this crop plays an important role in solving the problem of plant protein deficiency; however, in the Cis-Ural steppe of the Republic of Bashkortostan, productivity of vetch seeds and green mass is low and unstable over the years. In this regard, the purpose of the current study was to estimate the potential productivity of spring vetch varieties that would be promising for cultivation in the soil and climatic conditions of our region. Field trials were conducted in 2021–2023. Weather conditions during the years of study were contrasting in temperature and moisture availability. The material for the study was a set of spring vetch varieties 'Omichka 3', 'Orlovskaya 91', 'Lugovskaya 98', 'Lgovskaya 22', 'Yubileinaya 110', 'Uzunovskaya 8', 'Valentina', recommended for cultivation in the Ural region of the Russian Federation. The estimation, records and measurements were carried out in accordance with the Methodological recommendations for the study of the grain legumes' collection (1975) and the Methodology for the State Variety Testing of Agricultural Crops (2019). As a result, there has been found that in the conditions of the Republic of Bashkortostan the spring vetch varieties 'Lgovskaya 22', 'Omichka 3', 'Uzunovskaya 8' with a vegetation period length of 74.3 ± 11.6 – 75.7 ± 12.1 days turned out to be the most early-maturing. According to the indicators of the main yield structure elements, the varieties 'Valentina', 'Uzunovskaya 8', 'Yubileinaya 110' were the best in terms of 'number of beans per plant' (4.4 ± 0.7 – 4.9 ± 1.3 pcs.), 'seeds per plant' (18.1 ± 5.9 – 18.5 ± 6.8 pcs.), 'seed productivity' (0.90 ± 0.26 – 0.96 ± 0.27 g). According to our study, the most promising varieties for production in the Republic of Bashkortostan are 'Uzunovskaya 8' and 'Valentina', which were the best ones in terms of productivity of grain (1.25–1.29 t/ha), green mass (6.40–6.53 t/ha) and hay (1.61–1.65 t/ha) in 2021–2023.

Keywords: spring vetch, vegetation period, seed productivity, grain productivity, green mass productivity.

Введение. Вика яровая (*Vicia sativa* L.) – ценное кормовое растение (Ramírez-Parra and De la Rosa, 2023). Семена, сено, солома и зеленая масса вики содержат 27–34 % белка и 0,90–1,94 % жира (Теличко и Мохань, 2016). Переваримость яровой вики высокая. Поэтому зеленая масса, сено, солома и особенно зерно этой культуры представляют собой ценный питательный корм для всех видов сельскохозяйственных животных, охотно поедаемый ими (Parissi et al., 2022). Как бобовое растение вика может накапливать в почве до 80–100 кг азота на 1 га, следовательно, ее можно использовать в качестве зеленого удобрения (Liu et al., 2020). Вика – хороший предшественник для озимых и яровых зерновых, подсолнечника, сахарной свеклы, картофеля и ряда других культур (Mednov et al., 2021).

Основные площади посевов вики яровой расположены в лесной и лесостепной зонах России. В нашей стране данная зернобобовая культура возделывается в Среднем Поволжье, Западной Сибири и некоторых областях (Воронежская, Тульская, Тамбовская, Орловская и Курская) европейской части РФ (Теличко и Емельянов, 2020). Однако несмотря на свои достоинства, широкого распространения в России, а также Республике Башкортостан вика яровая не получила (Давлетов и Гайнуллина, 2018).

В настоящее время внедрение вики яровой в производство в значительной степени сдерживается отсутствием высокоурожайных, адаптивных, устойчивых к болезням и вредителям сортов (Теличко и Мохань, 2017). Селекционерами нашей страны создан ряд перспективных сортов этой культуры. Так, для возделывания в условиях Уральского региона Госсортокомиссией рекомендованы следующие сорта яровой вики: Омичка 3, Орловская 91, Луговская 98, Льговская 22, Юбилейная 110, Узуновская 8, Валентина. В свя-

зи с этим уточнение возможности возделывания данных сортов в условиях Республики Башкортостан, а также изучение их хозяйственных признаков является актуальным.

Цель работы – определение потенциальной продуктивности сортов яровой вики в условиях Республики Башкортостан. В задачи исследования входило: 1) изучить продолжительность фаз развития растений вики яровой; 2) оценить сорта вики по элементам структуры урожая; 3) выделить лучшие сорта вики по продуктивности зеленой массы, сена и семян.

Материалы и методы исследований. Изучение и оценку сортов яровой вики проводили в 2021–2023 годах. Полевые опыты закладывали на полях лаборатории селекции и первичного семеноводства зернобобовых и крупяных культур Чишминского селекционного центра по растениеводству Башкирского НИИСХ УФИЦ РАН. Почва опытного участка – карбонатный чернозем средней мощности среднесуглинистого гранулометрического состава. В верхнем слое содержится 8,1–8,2 % гумуса, на 100 г почвы приходится 42 мг подвижного калия и 23,7 мг окиси фосфора. Кислотность почвенного раствора нейтральная (pH = 7,0). Содержание гумуса в почве определяли по Тюрину (ГОСТ 26213-91), фосфора и калия – по Мачигину (ГОСТ 26205-91).

Климат в зоне проведения исследований относительно теплый, засушливый. Сумма активных температур за период с температурой выше 10 °C составляет 2200–2400 °C. Продолжительность безморозного периода – 126–128 суток. Сумма осадков за год – 468 мм с колебаниями по годам от 304 до 795 мм, сумма осадков за вегетационный период – 228 мм с колебаниями от 50 до 365 мм.

Метеорологические условия в 2021–2023 гг. были характерными для Предуральской степной зоны Башкортостана. По влагообеспеченности вегетационный период 2021 г. был

острозасушливым (ГТК = 0,41), 2023 г. – засушливым (ГТК = 0,53), 2022 г. – влажным (ГТК = 1,4). Таким образом, сложившиеся в годы проведения опытов контрастные по количеству выпавших осадков и температурному режиму условия позволили объективно оценить сорта вики яровой по основным хозяйственно ценным признакам и свойствам, а также выделить сорта, перспективные для возделывания в Республике Башкортостан.

Объектами исследования являлись сорта вики яровой Омичка 3, Орловская 91, Луговская 98, Льговская 22, Юбилейная 110, Узуновская 8, Валентина. Предшественник – озимая рожь. Полевые опыты закладывали в четырехкратной повторности. Площадь учетной делянки 25 м². В качестве стандарта использовали сорт Омичка 3.

Посев производили селекционной сеялкой СН-10Ц. Норма высева – 2,5 млн шт. всхожих семян на 1 га. Сроки сева: в 2021 г. – 3 мая, в 2022 г. – 5 мая, в 2023 г. – 30 апреля. Уход за посевами осуществляли в соответствии с методическими рекомендациями по возделыванию зернобобовых культур в Республике Башкортостан (Коваленко и др., 2015). Фенологические наблюдения, оценку всходов и учет урожая про-

водили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019), анализ структуры урожая – в соответствии с Методическими указаниями по изучению коллекции зерновых бобовых культур (1975). К уборке селекционным комбайном Хеge-125 приступали в фазу полной спелости бобов. Статистическую обработку полученных данных проводили общепринятыми методами (Доспехов, 2014).

Результаты и их обсуждение. Продолжительность вегетационного и межфазных периодов. Важным биологическим свойством растений является продолжительность вегетационного периода, которая складывается из межфазных периодов «всходы–цветение» и «цветение – созревание». Изучение продолжительности данных периодов у разных сортов в конкретных почвенно-климатических условиях представляет большой интерес для селекции.

В нашем исследовании в среднем за 2021–2023 гг. продолжительность периода «всходы – цветение» в зависимости от сортовых особенностей у яровой вики Омичка 3, Льговская 22, Орловская 91, Луговская 98, Юбилейная 110, Узуновская 8, Валентина изменялась от 42,0±5,0 до 44,7±5,1 сут. (табл. 1).

Таблица 1. Продолжительность вегетационного и межфазных периодов у сортов вики яровой (2021–2023 гг.)
Table 1. Length of a vegetation period and an interphase period of the spring vetch varieties (2021–2023)

Сорт	Период, сут.			Период «всходы – созревание», ± к стандарту
	всходы – цветение	цветение – созревание	всходы – созревание	
2021 г.				
Омичка 3, st	37	25	62	–
Льговская 22	37	25	62	0
Орловская 91	39	26	65	+3
Луговская 98	39	25	66	+4
Юбилейная 110	39	27	66	+4
Узуновская 8	38	27	63	+1
Валентина	38	28	66	+4
2022 г.				
Омичка 3, st	47	39	86	–
Льговская 22	48	37	85	-1
Орловская 91	50	38	88	+2
Луговская 98	48	38	86	0
Юбилейная 110	49	40	89	+3
Узуновская 8	48	39	87	+1
Валентина	48	40	88	+2
2023 г.				
Омичка 3, st	42	34	76	–
Льговская 22	42	34	76	0
Орловская 91	44	35	79	+3
Луговская 98	45	32	77	+1
Юбилейная 110	46	33	79	+3
Узуновская 8	43	35	77	+1
Валентина	45	33	78	+2
среднее за 2021–2023 гг.				
Омичка 3, st	42,0±5,0	32,7±7,1	74,7±12,1	–
Льговская 22	42,3±5,5	32,0±6,2	74,3±11,6	-0,4
Орловская 91	44,3±5,5	33,0±6,2	77,3±11,6	+2,6
Луговская 98	44,0±4,6	32,0±6,0	76,3±10,0	+1,6
Юбилейная 110	44,7±5,1	33,3±6,5	78,0±11,5	+3,3
Узуновская 8	43,0±5,0	33,7±6,1	75,7±12,1	+1,0
Валентина	43,7±5,1	33,7±6,0	77,3±11,0	+2,6

Как видно из данных, представленных в таблице 1, продолжительность периода «всходы – цветение» у изученных сортов в зависимости от количества выпавших осадков и температурного режима варьировала по годам. Так, например, погодные условия, сложившиеся в 2022 г., на 9–11 сут. увеличили продолжительность этого периода по сравнению с 2021 годом.

Длина межфазного периода «цветение – созревание» в наших опытах в зависимости от года изучения колебалась от 3 до 14 сут., от генетических особенностей сорта в среднем за 2021–2023 гг. – от 0,7 от 1,7 сут. (табл. 1).

Продолжительность полного вегетационного периода нередко выступает фактором, определяющим пригодность сорта для возделывания в том или ином регионе. По нашим

данным, в среднем за 2021–2023 гг. наиболее скороспелым оказался сорт Льговская 22 ($74,3 \pm 11,6$ сут.), позднеспелым – сорт Юбилейная 110 ($78,0 \pm 11,5$ сут.) (табл. 1). В зависимости от погодных условий года колебания продолжительности периода «всходы – созревание» у сортов вики яровой составили 9–24 сут. В засушливом 2021 г. длина вегетационного периода у изученных нами сортов значительно сократилась (табл. 1).

Элементы структуры урожая. Сравнительное изучение сортов яровой вики в условиях Республики Башкортостан в 2021–2023 гг. показало, что исследуемый материал значительно различается по признакам продуктивности. Показатели основных элементов структуры урожая сортов вики яровой приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристика изученных сортов вики яровой по морфобиологическим и хозяйственно ценным признакам (2021–2023 гг.)
Table 2. Characteristics of the studied spring vetch varieties according to morphobiological and economically valuable traits (2021–2023)

Сорт	Длина стебля, см	Число, шт.		Масса, г	
		бобов на растении	семян с растения	1000 семян	семян с растения
2021 г.					
Омичка 3, st	47,6±1,8	2,6±0,1	10,2±0,4	51,0±2,0	0,51±0,05
Льговская 22	46,4±1,6	3,0±0,1	11,0±0,4	50,9±1,9	0,55±0,06
Орловская 91	48,3±1,9	2,8±0,1	10,5±0,4	56,2±2,2	0,56±0,06
Луговская 98	49,0±1,8	3,6±0,2	11,3±0,5	49,8±1,8	0,56±0,06
Юбилейная 110	50,7±1,7	3,2±0,1	13,1±0,5	54,6±2,0	0,70±0,08
Узуновская 8	55,2±1,8	3,7±0,1	12,6±0,5	62,3±2,3	0,74±0,08
Валентина	56,5±2,0	3,9±0,2	14,2±0,5	56,8±2,2	0,78±0,09
2022 г.					
Омичка 3, st	67,4±1,8	5,3±0,3	22,3±1,1	50,1±1,9	1,05±0,11
Льговская 22	68,3±1,9	4,8±0,2	20,6±0,8	55,0±2,0	1,10±0,11
Орловская 91	72,0±2,2	5,0±0,2	24,2±1,2	48,9±1,9	1,15±0,13
Луговская 98	73,5±2,3	4,6±0,2	21,3±0,9	53,7±2,1	1,11±0,12
Юбилейная 110	76,1±2,3	6,1±0,3	24,6±1,2	50,8±2,0	1,20±0,15
Узуновская 8	79,8±2,4	6,3±0,3	26,0±1,4	49,9±1,9	1,27±0,16
Валентина	82,0±2,6	5,2±0,2	24,9±1,3	54,2±2,0	1,30±0,16
2023 г.					
Омичка 3, st	56,0±1,8	4,0±0,2	14,5±0,5	52,3±1,9	0,73±0,09
Льговская 22	54,2±1,6	4,2±0,2	14,6±0,5	55,5±2,0	0,77±0,09
Орловская 91	58,7±1,9	4,0±0,2	15,3±0,6	54,6±2,0	0,81±0,09
Луговская 98	60,5±2,0	4,4±0,2	12,8±0,4	60,0±2,2	0,72±0,08
Юбилейная 110	58,3±1,7	4,9±0,3	16,7±0,7	50,8±1,8	0,80±0,08
Узуновская 8	63,1±2,1	4,7±0,3	16,9±0,7	55,7±2,1	0,88±0,10
Валентина	64,2±2,0	4,2±0,2	15,8±0,6	51,7±1,9	0,77±0,09
2021–2023 гг.					
Омичка 3, st	57,0±9,9	4,0±1,4	15,7±6,1	51,1±1,1	0,76±0,27
Льговская 22	56,3±11,1	4,0±0,9	15,4±4,8	53,8±2,5	0,81±0,28
Орловская 91	59,7±11,9	3,9±1,0	16,7±6,9	53,2±3,8	0,84±0,30
Луговская 98	61,0±12,3	4,2±0,5	15,1±5,4	54,5±5,1	0,80±0,28
Юбилейная 110	61,7±13,0	4,7±1,5	18,1±5,9	52,1±2,2	0,90±0,26
Узуновская 8	66,0±12,6	4,9±1,3	18,5±6,8	56,0±6,2	0,96±0,27
Валентина	67,6±13,1	4,4±0,7	18,3±5,8	54,2±2,6	0,95±0,30

В наших опытах в острозасушливом 2021 г. число бобов на растении у сортов вики яровой снизилось до $2,6 \pm 0,1$ – $3,9 \pm 0,2$ шт., в то время как в благоприятных для вегетации условиях 2022 г. значения данного признака варьировали в пределах $4,6 \pm 0,2$ – $6,3 \pm 0,3$ шт. (табл. 2). Также высокие среднесуточные температуры

и недостаток влаги в 2021 г. привели к формированию низкого числа семян на растении ($10,2 \pm 0,4$ – $14,2 \pm 0,5$ шт.) и их массы ($0,51 \pm 0,05$ – $0,78 \pm 0,09$ г) (табл. 2).

В среднем за 2021–2023 гг. наибольшим числом бобов и семян на растении, массой семян с растения выделились сорта Юбилейная 110,

Узуновская 8, Валентина ($4,7 \pm 1,5$; $4,9 \pm 1,3$; $4,4 \pm 0,7$ шт., $18,1 \pm 5,9$; $18,5 \pm 6,8$; $18,3 \pm 5,8$ шт., $0,90 \pm 0,26$; $0,96 \pm 0,27$; $0,95 \pm 0,30$ соответственно) (табл. 2).

Урожайность зерна. Величина урожая зависит от сортовых особенностей, погодных усло-

вий, агротехнических приемов возделывания и других факторов и является важнейшим показателем ценности сорта. В 2021–2023 гг. изученные нами сорта формировали невысокую урожайность зерна: от 0,55 до 1,76 ц/га в зависимости от сорта и от условий года (табл. 3).

Таблица 3. Результаты испытания сортов яровой вики в условиях Республики Башкортостан (2021–2023 гг.)
Table 3. Testing results of the spring vetch varieties in the Republic of Bashkortostan (2021–2023)

Сорт	Урожайность зерна, т/га				
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	$\pm$ к стандарту
Омичка 3, st	0,55	1,50	1,00	1,02	–
Льговская 22	0,55	1,55	1,08	1,06	+0,04
Орловская 91	0,58	1,54	1,07	1,06	+0,04
Луговская 98	0,56	1,61	0,93	1,03	+0,01
Юбилейная 110	0,67	1,63	1,17	1,16	+0,14
Узуновская 8	0,76	1,76	1,34	1,29	+0,27
Валентина	0,75	1,72	1,28	1,25	+0,23
НСР ₀₅ , т/га	0,11	0,13	0,13	–	–

В острозасушливом 2021 г. и в засушливом 2023 г. урожайность вики яровой была значительно ниже, чем в относительно благоприятном для роста и развития растений 2022 году. В среднем за 2021–2023 гг. наибольшей урожайностью зерна отличились сорта Узуновская 8 (1,29 т/га), Валентина (1,25 т/га), Юбилейная 110 (1,16 т/га) (табл. 3). У остальных изученных нами сортов (Луговская 22, Орловская 91, Луговская 98) урожайность зерна была на уровне стандартного сорта Омичка 3 (1,02–1,06 т/га) (табл. 3).

Урожайность зеленой массы, сена и их кормовые качества. При относительно равных условиях возделывания урожай зеленой массы и сена различных сортов яровой вики различается как по величине, так и по качеству, что свидетельствует об их разной степени приспособленности к условиям внешней среды. Данные, полученные нами по урожайности зеленой массы изученных сортов вики яровой и качественного состава сена, убранного в фазе конца цветения, представлены в таблице 4.

Таблица 4. Урожайность зеленой массы и качественный состав сена сортов вики яровой (в среднем за 2021–2023 гг.)
Table 4. Green mass productivity of and qualitative composition of hay of the spring vetch varieties (mean in 2021–2023)

Сорт	Урожайность, т/га		Содержание в сене, %		
	зеленой массы	сена	стеблей	листьев	бобов
Омичка 3, st	5,00	1,26	48,0	27,0	25,0
Льговская 22	4,95	1,22	47,8	27,1	25,1
Орловская 91	5,19	1,32	48,0	26,8	25,2
Луговская 98	5,29	1,35	47,3	27,4	25,3
Юбилейная 110	5,68	1,44	47,1	27,2	25,7
Узуновская 8	6,40	1,61	45,8	27,3	26,9
Валентина	6,53	1,65	46,4	27,6	26,0
НСР ₀₅ , ц/га	0,45	0,17	–	–	–

В нашем исследовании наибольший урожай зеленой массы и сена формировали сорта Валентина, Узуновская 8 (табл. 4). Кроме того, данные сорта яровой вики характеризовались высоким качеством сена, содержащим 27,3–27,6 % листьев и 26,0–26,9 % бобов. Преобладающей частью сена у всех изученных нами сортов были стебли (45,8–48,0 %). Как показали наши наблюдения, сено вики хорошо поедается скотом в смеси с сеном зерновых культур (овса и других злаков).

Выводы. Таким образом, сравнительное изучение сортов вики яровой, рекомендованных к возделыванию в Уральском регионе РФ, позволило нам в условиях контрастных по температурному режиму и влагоо-

беспеченности годов выделить перспективные для производственного освоения в Республике Башкортостан сорта Узуновская 8 и Валентина, характеризующиеся наибольшей урожайностью зерна (1,25–1,29 т/га), зеленой массы (6,40–6,53 т/га) и сена (1,61–1,65 т/га). Для повышения величины урожая зеленой массы и улучшения качества полученного сена уборку данных сортов рекомендуется проводить в фазе образования бобов.

Финансирование. Исследование К.П. Гайнуллиной выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России № 122030200143-8, работы Ф.А. Давлетова поддержаны грантом Минобрнауки РФ № 075-15-2021-549 от 31 мая 2021 года.

Библиографические ссылки

1. Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П. Видовой состав зернобобовых культур в условиях Предуральской степи Республики Башкортостан // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 6(74). С. 33–36.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп., стереотип. М.: Альянс, 2014. 352 с.
3. Коваленко Н.А., Насыров И.С., Сураков И.И., Ширьев В.М., Сахибгареев А.А., Давлетов Ф.А., Гайнуллина К.П., Каримов И.К., Кузнецов В.И., Гильманов Р.Г., Давлетшин Ф.М., Леонтьев И.П. Современная технология возделывания зернобобовых культур в Республике Башкортостан. Методические рекомендации. Уфа: Мир печати, 2015. 80 с.
4. Теличко О.Н., Мохань О.В. Экологическая пластичность и стабильность сортообразцов вики яровой // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3. С. 16–20.
5. Теличко О.Н., Мохань О.В. О селекции вики яровой // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 7(153). С. 44–48.
6. Теличко О.Н., Емельянов А.Н. Оценка гетерозиса по основным элементам продуктивности у гибридов вики яровой первого поколения в условиях Приморья // Кормопроизводство. 2020. № 5. С. 35–38.
7. Liu R., Chang D.N., Gao S.J., Zhou G.P., Han M., Zhang J.D., Cao W.D., Sun X.F. Nitrogen fixation and transfer efficiency of common vetch and hairy vetch in wheat-vetch intercropping system in northwest China // Journal of Plant Nutrition and Fertilizers. 2020. Vol. 26, № 12. P. 2184–2194. DOI: 10.11674/zwf.20387
8. Mednov A.V., Goncharov A.V., Volpe A.A., Matveenkov K.A., Kalabashkina E.V. Productivity of spring vetch plants in single and mixed crops depending on meteorological conditions // Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. Vol. 19, № 5. P. 897–902. DOI: 10.22124/CJES.2021.5262
9. Parissi Z., Irakli M., Tigka E., Papastilianou P., Dordas C., Tani E., Abraham E.M., Theodoropoulos A., Kargiotidou A., Kougiteas L., Kousta A., Koskosidis A., Kostoula S., Beslemes D., Vlachostergios D.N. Analysis of genotypic and environmental effects on biomass yield, nutritional and antinutritional factors in common vetch // Agronomy. 2022. Vol. 12, № 7. P. 1678. DOI: 10.3390/agronomy12071678
10. Ramírez-Parra E., De la Rosa L. Designing novel strategies for improving old legumes: an overview from common vetch // Plants. 2023. Vol. 12, № 6. P. 1275. DOI: 10.3390/plants12061275

References

1. Davletov F.A., Gainullina K.P. Vidovoi sostav zernobobovykh kul'tur v usloviyakh Predural'skoi stepi Respubliki Bashkortostan [Varietal composition of leguminous crops in the conditions of the Cis-Ural steppe of the Republic of Bashkortostan] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 6(74). S. 33–36.
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)]. 6-e izd., pererab. i dop., stereotip. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
3. Kovalenko N.A., Nasyrov I.S., Surakov I.I., Shiriev V.M., Sakhibgareev A.A., Davletov F.A., Gainullina K.P., Karimov I.K., Kuznetsov V.I., Gil'manov R.G., Davletshin F.M., Leont'ev I.P. Sovremennaya tekhnologiya vozdel'yvaniya zernobobovykh kul'tur v Respublike Bashkortostan [Modern technology for cultivating leguminous crops in the Republic of Bashkortostan]. Metodicheskie rekomendatsii. Ufa: Mir pechati, 2015. 80 s.
4. Telichko O.N., Mokhan' O.V. Ekologicheskaya plastichnost' i stabil'nost' sortoobraztsov viki yarovoi [Ecological adaptability and stability of spring vetch varieties] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2016. № 3. S. 16–20.
5. Telichko O.N., Mokhan' O.V. O seleksii viki yarovoi [About spring vetch breeding] // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 7(153). S. 44–48.
6. Telichko O.N., Emel'yanov A.N. Otsenka geterozisa po osnovnym elementam produktivnosti u gibridov viki yarovoi pervogo pokoleniya v usloviyakh Primor'ya [Estimation of heterosis according to the main productivity elements of the first-generation spring vetch hybrids in the conditions of Primorye] // Kormoproizvodstvo. 2020. № 5. S. 35–38.
7. Liu R., Chang D.N., Gao S.J., Zhou G.P., Han M., Zhang J.D., Cao W.D., Sun X.F. Nitrogen fixation and transfer efficiency of common vetch and hairy vetch in wheat-vetch intercropping system in northwest China // Journal of Plant Nutrition and Fertilizers. 2020. Vol. 26, № 12. P. 2184–2194. DOI: 10.11674/zwf.20387
8. Mednov A.V., Goncharov A.V., Volpe A.A., Matveenkov K.A., Kalabashkina E.V. Productivity of spring vetch plants in single and mixed crops depending on meteorological conditions // Caspian Journal of Environmental Sciences. 2021. Vol. 19, № 5. P. 897–902. DOI: 10.22124/CJES.2021.5262
9. Parissi Z., Irakli M., Tigka E., Papastilianou P., Dordas C., Tani E., Abraham E.M., Theodoropoulos A., Kargiotidou A., Kougiteas L., Kousta A., Koskosidis A., Kostoula S., Beslemes D., Vlachostergios D.N. Analysis of genotypic and environmental effects on biomass yield, nutritional and antinutritional factors in common vetch // Agronomy. 2022. Vol. 12, № 7. P. 1678. DOI: 10.3390/agronomy12071678
10. Ramírez-Parra E., De la Rosa L. Designing novel strategies for improving old legumes: an overview from common vetch // Plants. 2023. Vol. 12, № 6. P. 1275. DOI: 10.3390/plants12061275

Поступила: 23.03.24; доработана после рецензирования: 27.04.24; принята к публикации: 03.05.24.

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. Давлетов Ф.А. – концептуализация исследования; Юлдыбаев И.Р. – выполнение опытов и сбор данных; Гайнуллина К.П. – анализ данных и их интерпретация; Мустафин И.Г. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО ПРЕДШЕСТВЕННИКУ ГОРОХ В УСЛОВИЯХ ФГБНУ «АНЦ «ДОНСКОЙ»

А. В. Кири́н¹, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунинтенсивного типа, sasha.kirin2015@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2144-3818;

Д. М. Марченко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунинтенсивного типа, wiza101@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5251-3903;

М. М. Иванисов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунинтенсивного типа, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

И. А. Рыбась¹, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунинтенсивного типа, rybasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-8443-7714;

Г. М. Зеленская², доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и садоводства, zela_06@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1537-9207

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

²ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», 346493, пос. Персиановский, ул. Кривошлыкова; e-mail: agrofak-dgau@yandex.ru

Полевые исследования проводили в 2021–2023 гг. на базе ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве предшественника использовали горох. В опыте было изучено 14 сортов озимой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунинтенсивного типа. Цель нашей работы – изучить влияние элементов структуры урожая на продуктивность сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по предшественнику горох в условиях южной зоны Ростовской области. Анализ результатов показал, что урожайность за 2021–2023 гг. варьировала от 7,34 т/га у стандарта Дон 107 до 8,45 т/га у сорта Премьера. За период работы была проведена оценка следующих структурных элементов продуктивности: количество продуктивных стеблей, длина колоса, число колосков в колосе, число зерен в колосе, масса зерна с колоса, масса 1000 зерен. Количество продуктивных стеблей изменялось от 600 до 720 шт./м². Максимальные значения получены у следующих сортов: Аюта (650 шт./м²), Вольный Дон (678 шт./м²), Полина (680 шт./м²), Регион 161 (681 шт./м²), Вольница, Донец (700 шт./м²), Флагман (702 шт./м²), Аксай (708 шт./м²), Премьера (718 шт./м²), Амбар (720 шт./м²). За изучаемый период по длине колоса сорта разделялись на две группы: среднеколосые (8–10 см) – Дон 107, Жаворонок, Подарок Крыму, Аюта, Регион 161, Вольный Дон, Флагман; длинноколосые (более 10 см) – Золотой колос, Полина, Донец, Вольница, Амбар, Премьера, Аксай. Пределы изменчивости количества зерен в колосе у образцов озимой мягкой пшеницы составили от 28,7 шт. (Вольный Дон) до 38,7 шт. (Золотой колос). Масса зерна с колоса стандарта Дон 107 составила 1,30 г, высокие значения по данному признаку ($HC_{05} = \pm 0,05$ г.) отмечены у сортов Полина и Донец (1,36 г.), Жаворонок (1,39 г.), Золотой колос (1,45 г.). Масса 1000 зерен варьировала от 35,3 г. (Подарок Крыму) до 48,0 г. (Донец). Крупное зерно было сформировано следующими сортами: Жаворонок (40,0 г.), Флагман (40,6 г.), Премьера (45,1 г.), Аксай (45,2 г.), Вольница (47,0 г.), Донец (48,0 г.). Существенный вклад в формирование продуктивности новых сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» внесли следующие структурные элементы: масса 1000 зерен ($r = 0,75 \pm 0,18$), длина колоса ($r = 0,66 \pm 0,21$), количество продуктивных стеблей ($r = 0,61 \pm 0,22$) и масса зерна с колоса ($r = 0,57 \pm 0,23$).

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, предшественник, урожайность, сорт, элементы структуры, количество продуктивных стеблей.

Для цитирования: Кири́н А. В., Марченко Д. М., Иванисов М. М., Рыбась И. А., Зеленская Г. М. Формирование урожайности и элементов структуры сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох в условиях ФГБНУ «АНЦ «Донской» // Для цитирования: // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 33–39. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-33-39.



FORMATION OF YIELD STRUCTURE ELEMENTS OF WINTER BREAD WHEAT VARIETIES WHEN SOWN AFTER PEAS IN THE CONDITIONS OF THE FSBSI “ARC “DONSKOY”

A. V. Kirin¹, 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;

D. M. Marchenko¹, 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;

M. M. Ivanisov¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of semi-intensive type, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

I. A. Rybas¹, 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;

G. M. Zelenskaya², Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of plant growing and horticulture, zela_06@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1537-9207

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru;

²FSBEI HE "Donskoy State Agricultural University" 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, v. Persianovsky, Krivoshlykov Str., 24, e-mail: agrofak-dgau@yandex.ru

Field trials were carried out on the basis of the FSBSI "ARC "Donskoy" in 2021–2023. Peas were used as a forecrop. In the trials there were studied 14 winter bread wheat varieties of the competitive variety testing conducted in the laboratory for breeding and seed production of winter bread wheat of semi-intensive type. The purpose of the current work was to study the effect of yield structure elements on the productivity of winter bread wheat varieties bred by the FSBSI "ARC "Donskoy" when sown after peas in the southern part of the Rostov region. Analysis of the results has shown that the yield of 2021–2023 varied from 7.34 t/ha for the standard variety 'Don 107' to 8.45 t/ha for the variety 'Premiera'. During the period of work, there were estimated such structure elements as 'number of productive stems', 'length of a head', 'number of spikelets in a head', 'number of grains in a head', 'grain weight per head', '1000-grain weight'. The trait 'number of productive stems' varied from 600 pcs./m² to 720 pcs./m², the maximum values were obtained from the varieties 'Ayuta' (650 pcs./m²), 'Volny Don' (678 pcs./m²), 'Polina' (680 pcs./m²), 'Region 161' (681 pcs./m²), 'Volnitsa', 'Donets' (700 pcs./m²), 'Flagman' (702 pcs./m²), 'Aksai' (708 pcs./m²), 'Premiera' (718 pcs./m²), 'Ambar' (720 pcs./m²). During the studied period, the varieties were divided into such two groups according to the length of a head as 'medium-headed' (8–10 cm) including the varieties 'Don 107', 'Zhavoronok', 'Podarok Krymu', 'Ayuta', 'Region 161', 'Volny Don', 'Flagman' and 'long-headed' (more than 10 cm) including the varieties 'Zolotoy Kolos', 'Polina', 'Donets', 'Volnitsa', 'Ambar', 'Premiera', 'Aksai'. The limits of variability in the trait 'number of grains per head' for the winter bread wheat samples ranged from 28.7 pcs. ('Volny Don') to 38.7 pcs. ('Zolotoy Kolos'). The trait 'grain weight per head' of the standard variety 'Don 107' was 1.30 g, high values of the trait ($HCP_{05} = \pm 0.05$ g) were identified in such varieties as 'Polina' and 'Donets' (1.36 g), 'Zhavoronok' (1.39 g), 'Zolotoy Kolos' (1.45 g). The trait '1000-grain weight' varied from 35.3 g ('Podarok Krymu') to 48.0 g ('Donets'). Large grains were formed by the varieties 'Zhavoronok' (40.0 g), 'Flagman' (40.6 g), 'Premiera' (45.1 g), 'Aksai' (45.2 g), 'Volnitsa' (47.0 g), 'Donets' (48.0). Significant contribution to the formation of productivity of the new winter bread wheat varieties bred by the FSBSI "ARC "Donskoy" was made by the traits '1000-grain weight' ($r = 0.75 \pm 0.18$), 'length of a head' ($r = 0.66 \pm 0.21$), 'number of productive stems' ($r = 0.61 \pm 0.22$) and 'grain weight per head' ($r = 0.57 \pm 0.23$).

Keywords: winter bread wheat, forecrop, productivity, variety, structure elements, number of productive stems.

Введение. Озимая пшеница – самая ценная продовольственная культура, занимающая большие площади посева в Ростовской области. В 2023 г. площади, занятые данной культурой, составили 2969,1 тыс. га. Увеличение ее урожайности остается актуальной задачей для отечественной сельскохозяйственной науки (Левакова и Жаркова, 2023)

Внедрение в производственные процессы новых сортов озимой пшеницы всегда нуждается в тщательном их изучении, особенно в различных условиях возделывания. Правильный подбор предшественников в системе севооборотов способствует созданию благоприятных условий для получения высоких урожаев зерна. Важным мероприятием, оказывающим влияние на урожай и качество зерна, является размещение ее посевов по лучшим предшественникам (Якушев и др., 2022).

Горох считается оптимальной предшествующей культурой для озимой пшеницы, потому что в результате работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий происходит накопление азота в почве, что способствует появлению дружных всходов и дальнейшему развитию озимой пшеницы. Важным преимуществом гороха как предшественника является способ-

ность к разрыхлению слоя почвы благодаря его стержневой корневой системе, что благоприятно влияет на развитие озимой пшеницы (Рулева и Семинченко, 2019).

Урожайность озимой пшеницы обуславливается состоянием агрофитоценоза и зависит от всех хозяйственно-биологических признаков сорта, включая элементы структуры урожая (Морозов и др., 2022).

Поэтому целью нашей работы являлось изучение влияния элементов структуры урожая на продуктивность сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» по предшественнику горох в условиях южной зоны Ростовской области.

Материал и методы исследований. Работу проводили на полях «АНЦ «Донской» в 2021–2023 годах. В опыте по предшественнику горох изучили 14 сортов озимой мягкой пшеницы, созданных в лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы полунтенсивного типа. В качестве стандарта использовали Дон 107, внесенный в Государственный реестр селекционных достижений в 2010 году. Сев проводили сеялкой Wintersteiger Plotseed S обычным рядовым способом. Глубина заделки семян 4–6 см с нормой

высева 450 всхожих зерен на квадратный метр. Учетная площадь делянок 10 м², повторность трехкратная. Размещение систематическое. Закладку опытов проводили в соответствии с методикой полевого опыта (Доспехов, 2014).

Все данные проведенных исследований выполняли с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Погодные условия в годы исследований сложились разнообразно. Наиболее благоприятным оказался 2022 г., который позволил получить максимальную урожайность сортов за счет накопленных зимних и весенних запасов влаги в почве. В зимний период выпало 235 мм осадков (161,3 % к среднеемноголетним данным). Засушливые условия в весенне-летнюю вегетацию 2021 г. – среднегодовая температура воздуха 11,5 °С (превышение над среднеемноголетними данными 1,8 °С), переизбыточное количество осадков – 240 мм (183 % от среднеемноголетних данных), сопровождающиеся шквальным ветром. В весенний период 2023 г., негативно отразились на урожайности сортов озимой мягкой пшеницы в 2020/2021 и в 2022/2023 с.-х. годах.

Результаты и их обсуждение. Урожайность является главным критерием оценки продуктивности сорта. Формирование данного показателя в значительной мере зависит от сортовых особенностей, погодных условий,

технологии возделывания. Одним из основных резервов повышения урожайности озимой пшеницы является полная реализация потенциала продуктивности районированных сортов (Иванисова, 2022).

Урожайность в условиях 2021 г. варьировала от 5,90 т/га у сорта Жаворонок до 7,05 т/га у сорта Флагман, у стандарта Дон 107 она составила 6,05 т/га. Достоверное превышение над стандартом по урожайности отмечено у шести генотипов ($HCP_{05} = \pm 0,57$ т/га): Премьера (6,65 т/га), Вольница (6,66 т/га), Регион 161 и Вольный Дон (6,67 т/га), Донец (6,85 т/га), Флагман (7,05 т/га).

Наиболее благоприятные условия для формирования высокой урожайности сложились в 2022 году. В среднем по опыту она составила 9,24 т/га, у стандартного сорта Дон 107 – 8,40 т/га. Достоверно превысили стандарт ($HCP_{05} = \pm 1,02$ т/га) Золотой колос (9,44 т/га), Амбар⁰⁵ (9,48 т/га), Флагман (9,76 т/га), Донец (9,78 т/га), Аксай (9,80 т/га), Премьера (9,91 т/га).

В 2023 г. урожайность озимой мягкой пшеницы была ниже по сравнению с 2022 годом. Варьирование признака по сортам составило от 6,37 т/га (Вольный Дон) до 8,80 т/га (Премьера). У стандартного сорта Дон 107 она составила 7,57 т/га. Превышение над стандартом получено у сортов Полина (8,39 т/га), Донец (8,66 т/га), Вольница (8,74 т/га), Премьера (8,80 т/га) ($HCP_{05} = \pm 0,73$ т/га) (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох, т/га (2021–2023 гг.)
Table 1. Productivity of the winter bread wheat varieties when sown after peas, t/ha (2021–2023)

Сорт	Годы						Среднее	± к стандарту
	2021		2022		2023			
	урожайность	± к стандарту	урожайность	± к стандарту	урожайность	± к стандарту		
Дон 107, st	6,05	–	8,40	–	7,57	–	7,34	–
Вольница	6,66	0,61	8,72	0,32	8,74	1,17	8,04	0,70
Жаворонок	5,90	-0,15	9,31	0,91	7,77	0,20	7,6	0,26
Подарок Крыму	6,33	0,28	8,88	0,48	6,86	-0,71	7,35	0,01
Полина	6,02	-0,03	9,34	0,94	8,39	0,82	7,9	0,56
Амбар	6,30	0,25	9,48	1,08	7,94	0,37	7,91	0,57
Премьера	6,65	0,60	9,91	1,51	8,80	1,23	8,45	1,11
Аюта	6,35	0,30	8,79	0,39	8,19	0,62	7,77	0,43
Золотой колос	6,51	0,46	9,44	1,04	7,90	0,33	7,95	0,61
Донец	6,85	0,80	9,78	1,38	8,66	1,09	8,43	1,09
Регион 161	6,67	0,62	8,44	0,04	7,21	-0,36	7,44	0,10
Вольный Дон	6,67	0,62	9,37	0,97	6,37	-1,20	7,47	0,13
Аксай	6,06	0,01	9,80	1,40	7,58	0,01	7,8	0,46
Флагман	7,05	1,00	9,76	1,36	7,89	0,32	8,2	0,86
Средняя	6,43	–	9,24	–	7,85	–	7,82	–
НСР ₀₅	0,57	–	1,02	–	0,73	–	0,60	–

В среднем за три года урожайность сортов изменялась от 7,34 т/га у стандартного сорта Дон 107 до 8,45 т/га у сорта Премьера. Превысили стандарт пять сортов ($HCP_{05} = \pm 0,60$ т/га): Золотой колос (7,95 т/га), Вольница (8,04 т/га), Флагман (8,20 т/га), Донец (8,43 т/га), Премьера (8,45 т/га).

Урожайность зерновых культур определяется количеством продуктивных стеблей на единицу площади, продуктивной кустистостью, числом колосков и зерен в колосе, массой зерна с колоса и массой 1000 зерен (Черноусов и др., 2021).

Количество продуктивных стеблей сортов озимой мягкой пшеницы изменялось в широ-

ких пределах – от 600 шт./м² у стандартного сорта Дон 107 до 720 шт./м² у сорта Амбар (рис. 1).

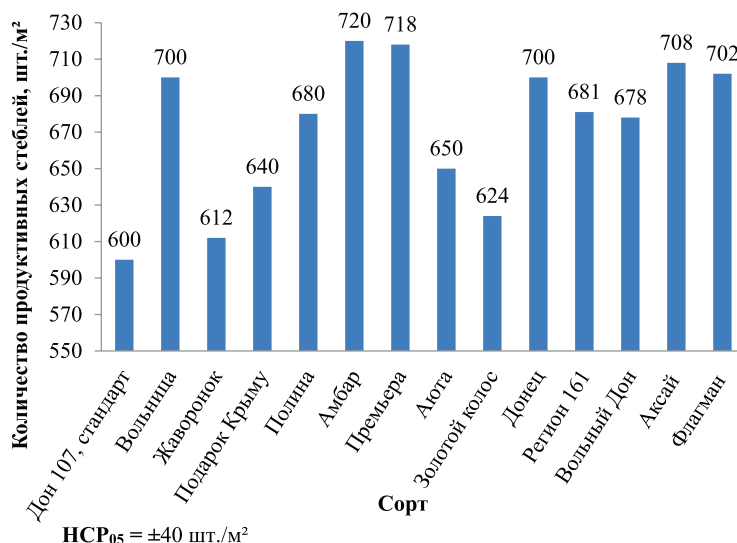


Рис. 1. Количество продуктивных стеблей сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох (2021–2023 гг.)

Fig. 1. Number of productive stems of the winter bread wheat varieties when sown after peas (2021–2023)

В среднем за три года достоверно превысили стандарт ($HCP_{05} = \pm 40$ шт./м²) 10 сортов, превышение составило от 50 до 120 шт./м². Максимальные значения данного показателя сформированы следующими сортами: Аюта (650 шт./м²), Вольный Дон (678 шт./м²), Полина (680 шт./м²), Регион 161 (681 шт./м²), Вольница, Донец (700 шт./м²), Флагман (702 шт./м²), Аксай (708 шт./м²), Премьера (718 шт./м²), Амбар (720 шт./м²).

Признаком, зависящим от генотипических особенностей сортов озимой пшеницы, явля-

ется длина колоса (Данилова и Табымбаева, 2022). В наших исследованиях значения показателя изменялись от 8,9 см у стандартного сорта Дон 107 до 11,4 см у сорта Амбар.

За изучаемый период по длине колоса сорта разделялись на две группы: среднеколосые (8–10 см) – Дон 107, Жаворонок, Подарок Крыму, Аюта, Регион 161, Вольный Дон, Флагман; длинноколосые (более 10 см) – Золотой колос, Полина, Донец, Вольница, Амбар, Премьера, Аксай (табл. 2).

Таблица 2. Элементы структуры колоса сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох (2021–2023 гг.)

Table 2. Head structure elements of the winter bread wheat varieties when sown after peas (2021–2023)

Сорт	Длина колоса, см.	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г
Дон 107, st	8,9	18,1	32,6	1,30
Вольница	11,0	21,7	33,0	1,29
Жаворонок	9,5	18,7	34,2	1,39
Подарок Крыму	9,3	18,8	36,0	1,30
Полина	10,7	20,2	38,3	1,36
Амбар	11,4	23,8	32,8	1,23
Премьера	11,0	22,0	30,4	1,30
Аюта	10,0	20,2	36,4	1,35
Золотой колос	10,6	19,8	38,7	1,45
Донец	10,9	20,4	30,1	1,36
Регион 161	9,6	18,2	29,1	1,24
Вольный Дон	9,8	18,9	28,7	1,28
Аксай	11,2	18,3	32,1	1,25
Флагман	9,5	19,2	37,4	1,31
HCP ₀₅	0,8	1,6	3,7	0,05

Число колосков в колосе устанавливает потенциальный уровень продуктивности колоса. Данный признак зависит от особенностей сорта, от влияния различных факторов внешней среды (Айдарбекова и др., 2022). Число колосков в колосе у испытываемых сортов находилось в пределах от 18,1 шт. у стандарта Дон 107 до 23,8 шт. у сорта Амбар. Максимальные показатели данного признака получены у шести сортов: Аюта (20,2 шт.), Полина (20,2 шт.), Донец (20,4 шт.), Вольница (21,7 шт.), Премьера (22,0 шт.), Амбар (23,8 шт.). Значения были больше, чем у стандартного сорта Дон 107, на 2,1–5,7 шт.

Большое влияние на число зерен в колосе оказывают биологические особенности сорта, площадь питания, влагообеспеченность, уровень агротехники (Маслова и др., 2021; Некрасов и др., 2022). Пределы изменчивости числа зерен в колосе у образцов озимой мягкой пшеницы составили от 28,7 шт. у сор-

та Вольный Дон до 38,7 шт. у сорта Золотой колос. У стандартного сорта Дон 107 количество зерен в колосе было на уровне 32,6 шт. Максимальное число зерен в колосе сформировали сорта Аюта (36,4 шт.), Флагман (37,4 шт.), Полина (38,3 шт.), Золотой колос (38,7 шт.).

В среднем за 3 года (2021–2023 гг.) у сортов озимой мягкой пшеницы масса зерна с колоса находилась в пределах от 1,23 г (Амбар) до 1,45 г (Золотой колос), у стандарта Дон 107 – 1,30 г. Высокие показатели данного признака были получены у четырех сортов (более 1,35 г): Полина и Донец (1,36 г), Жаворонок (1,39 г), Золотой колос (1,45 г).

Масса 1000 зерен является сортовым признаком, но при этом может варьировать в зависимости от условий выращивания (Стасюк и др., 2021). За рассматриваемый период масса 1000 зерен изменялась от 35,3 г у сорта Подарок Крыму до 48,0 г у сорта Донец, у стандарта Дон 107 – 37,3 г (рис. 2).

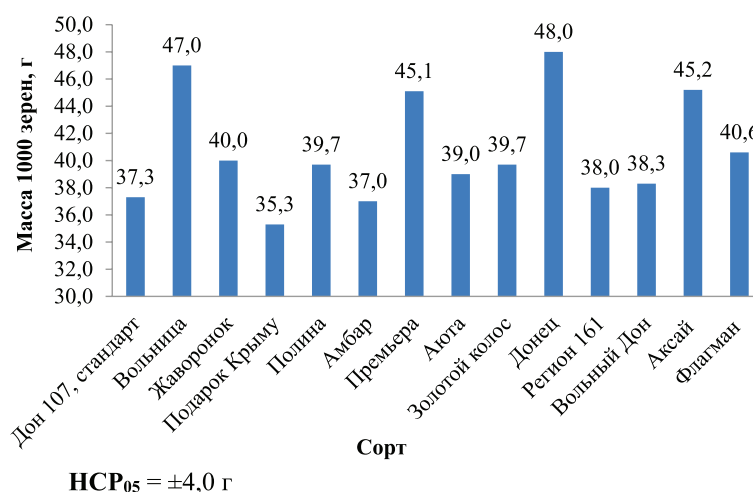


Рис. 2. Масса 1000 зерен сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох (2021–2023 гг.)

Fig. 2. 1000-grain weight of the winter bread wheat varieties when sown after peas (2021–2023)

Крупное зерно было сформировано следующими сортами: Жаворонок (40,0 г), Флагман (40,6 г), Премьера (45,1 г), Аксай (45,2 г), Вольница (47,0 г), Донец (48,0 г).

Необходимо выделить сорта Премьера (45,1 г) и Донец (48,0 г), которые сочетают в себе высокую урожайность и крупность зерна.

По результатам корреляционного анализа установлено, что урожайность имеет сильную положительную связь с массой 1000 зерен ($r = 0,75 \pm 0,18$); положительные средние связи с длиной колоса ($r = 0,66 \pm 0,21$), массой зерна с колоса ($r = 0,57 \pm 0,23$), количеством продуктивных стеблей ($r = 0,61 \pm 0,22$) (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционные взаимосвязи между элементами структуры урожая сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох (2021–2023 гг.)
Table 3. Correlation among yield structure elements of the winter bread wheat varieties when sown after peas (2021–2023)

Элементы структуры урожая	Урожайность, т/га	Количество продуктивных стеблей, шт./м²	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, шт.	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Урожайность, т/га	–	–	–	–	–	–	–
Количество продуктивных стеблей, шт./м²	0,61*	–	–	–	–	–	–
Длина колоса, см	0,66*	0,70*	–	–	–	–	–
Число колосков в колосе, шт.	0,23	0,56*	0,72*	–	–	–	–
Число зерен в колосе, шт.	0,08	-0,35*	-0,10	0,00	–	–	–
Масса зерна с колоса, г	0,57*	-0,54*	-0,08	-0,11	0,59*	–	–
Масса 1000 зерен, г	0,75*	0,51*	0,61*	0,25	-0,28	0,08	–

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

Длина колоса имеет сильную положительную связь с количеством продуктивных стеблей ($r = 0,70 \pm 0,18$) и числом колосков в колосе ($r = 0,72 \pm 0,19$). Средняя положительная связь отмечена между: массой 1000 зерен и количеством продуктивных стеблей ($r = 0,51 \pm 0,24$) и длиной колоса ($r = 0,61 \pm 0,21$); числом колосков в колосе и количеством продуктивных стеблей ($r = 0,56 \pm 0,23$); числом зерен в колосе и массой зерна с колоса ($r = 0,59 \pm 0,22$). Средняя отрицательная связь выявлена между количеством продуктивных стеблей и числом зерен в колосе ($r = -0,35 \pm 0,26$) и массой зерна с колоса ($r = -0,54 \pm 0,23$).

Выводы. Урожайность за период изучения (2021–2023 гг.) новых сортов озимой мягкой пшеницы по предшественнику горох находи-

лась в пределах от 7,34 т/га (Дон 107) до 8,45 т/га (Премьера). Максимальная урожайность была получена у сортов Золотой колос (7,95 т/га), Вольница (8,04 т/га), Флагман (8,20 т/га), Донец (8,43 т/га), Премьера (8,45 т/га), которые сформировали прибавку от 0,61 до 1,11 т/га.

В результате корреляционного анализа было выявлено, что на формирование урожайности сортов по предшественнику горох существенно влияли: масса 1000 зерен ($r = 0,75 \pm 0,18$), длина колоса ($r = 0,66 \pm 0,21$), количество продуктивных стеблей ($r = 0,61 \pm 0,22$) и масса зерна с колоса ($r = 0,57 \pm 0,23$).

Сорта Премьера и Донец представляют наибольший интерес, сочетая высокую продуктивность по годам.

Библиографические ссылки

1. Айдарбекова Т.Ж., Сыздыкова Г.Т., Малицкая Н.В., Нургазиев Р.Е., Хусаинов А.Т., Жабеева М.У., Маханова С.К., Шойкин О.Д. Сравнительная оценка линий яровой мягкой пшеницы (*Triticumaestivum* L.) в степной зоне Северо-Казахстанской области // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 66–80. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.66rus
2. Данилова Т.Н., Табынбаева Л.К. О формировании продуктивности зерновых культур при внесении гидрогелей в условиях модельной почвенной засухи в полевых условиях // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 3. С. 460–475. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.3.460rus
3. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Иванисова, А.С. Оценка элементов структуры урожая коллекционных образцов озимой твердой пшеницы на юге Ростовской области // Аграрная наука. 2022. № 2. С. 62–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-62-66
5. Левакова О.В., Жаркова Е.Д. Связь структурных показателей озимой пшеницы с зерновой продуктивностью под влиянием контрастных метеоусловий центрального региона // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2023. № 4. С. 15–19. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/4/15-19
6. Маслова Г.Я., Шарапов И.И., Шарапова Ю.А. Урожайность и элементы структуры урожая сортов озимой пшеницы конкурсного сортоиспытания в условиях Самарской области // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 240–246. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-25
7. Морозов Н.А., Ходжаева Н.А., Хрипунов А.И., Общия Е.Н. Экологическая пластичность урожайности озимой пшеницы при возделывании по различным предшественникам в засушливых условиях Восточного Предкавказья // Аграрная наука. 2022. № 10. С. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-106-110
8. Некрасов Е.И., Марченко Д.М., Иванисов М.М. Изучение адаптивного потенциала сортов озимой мягкой пшеницы селекции Аграрного научного центра «Донской» по признаку «масса 1000 зерен» // Аграрная наука. 2022. № 7–8. С. 142–145. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-142-145
9. Рулева О.В., Семинченко Е.В. Влияние предшественников на формирование элементов продуктивности озимой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья // Аграрная наука. 2019. № 4. С. 68–72. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-324-4-68-72
10. Стасюк А. И., Леонова И.Н., Пономарева М.Л., Василова Н.З., Шаманин В.П., Салина Е.А. Фенотипическая изменчивость селекционных линий мягкой пшеницы (*Triticumaestivum* L.) по элементам структуры урожая в экологических условиях Западной Сибири и Татарстана // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 1. С. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.78rus
11. Черноусов Е.В., Фоменко М.А., Стирманова Е.Ю. Оценка коллекционных образцов озимой пшеницы по элементам продуктивности в условиях засухи в степной зоне Ростовской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 1(87). С. 40–45. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-87-1-40-45
12. Якушев В.П., Канаш Е.В., Русаков Д.В., Якушев В.В., Блохина С.Ю., Петрушин А.Ф., Блохин Ю.И., Митрофанова О.А., Митрофанов Е.П. Корреляционные зависимости между вегетационными индексами, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 1. С. 98–112. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.98rus

References

1. Aidarbekova T. Zh., Syzdykova G. T., Malitskaya N. V., Nurgaziev R. E., Khusainov A. T., Zhabaeva M. U., Makhanova S. K., Shoikin O. D. Sravnitel'naya otsenka linii yarovoi myagkoi pshenitsy (*Triticumaestivum* L.) v stepnoi zone Severo-Kazakhstanskoi oblasti [Comparative estimation of spring common wheat lines (*Triticumaestivum* L.) in the steppe zone of the North Kazakhstan region] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 1. S. 66–80. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.66rus
2. Danilova T. N., Tabynbaeva L. K. O formirovaniy produktivnosti zernovykh kul'tur pri vnesenii gidrogelei v usloviyakh model'noi pochvennoi zasukhi v polevykh usloviyakh [On the formation

- of the grain crop productivity when introducing hydrogels under field conditions of model soil drought] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 3. S. 460–475. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.3.460rus
3. 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)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 2014. 351 s.
 4. Ivanisova, A. S. Otsenka elementov struktury urozhaya kollektсионных образцов озимой твердой пшеницы на юге Ростовской области [Estimation of the yield structure elements of the collection winter durum wheat samples in the south of the Rostov region] // Agrarnaya nauka. 2022. № 2. S. 62–66. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-356-2-62-66
 5. Levakova O.V., Zharkova E.D. Svyaz' strukturnykh pokazatelei ozimoi pshenitsy s zernovoi produktivnost'yu pod vliyaniem kontrastnykh meteorologicheskikh usloviy tsentral'nogo regiona [Correlation between structural indicators of winter wheat and grain productivity under the effect of contrasting weather conditions in the central region] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoy nauki. 2023. № 4. S. 15–19. DOI: 10.31857/2500-2082/2023/4/15-19
 6. Maslova G.Ya., Sharapov I.I., Sharapova Yu.A. Urozhainost' i elementy struktury urozhaya sortov ozimoi pshenitsy konkurnogo sortoispytaniya v usloviyakh Samarskoi oblasti [Productivity and yield structure elements of winter wheat varieties of the Competitive Variety Testing in the conditions of the Samara region] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2021. № 2(62). S. 240–246. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-25
 7. Morozov N.A., Khodzhaeva N.A., Khripunov A.I., Obshchiya E.N. Ekologicheskaya plastichnost' urozhainosti ozimoi pshenitsy pri vozdeystvii po razlichnym predshestvennikam v zasushlivykh usloviyakh Vostochnogo Predkavkaz'ya [Ecological adaptability of winter wheat productivity when cultivated using various forecrops in the arid conditions of Eastern Ciscaucasia] // Agrarnaya nauka. 2022. № 10. S. 106–110. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-363-10-106-110
 8. Nekrasov E.I., Marchenko D.M., Ivanisov M.M. Izuchenie adaptivnogo potentsiala sortov ozimoi myagkoi pshenitsy selektsii Agrarnogo nauchnogo tsentra «Donskoi» po priznaku «massa 1000 zeren» [The study of the adaptive potential of winter common wheat varieties developed by the Agricultural Research Center “Donskoy” based on the trait ‘1000-grain weight’] // Agrarnaya nauka. 2022. № 7–8. S. 142–145. DOI: 10.32634/0869-8155-2022-361-7-8-142-145
 9. Ruleva O.V., Semichenko E.V. Vliyanie predshestvennikov na formirovanie elementov produktivnosti ozimoi pshenitsy v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [The effect of forecrops on the formation of yield structure elements of winter wheat in the conditions of the lower Volga region] // Agrarnaya nauka. 2019. № 4. S. 68–72. DOI: 10.32634/0869-8155-2019-324-4-68-72
 10. Stasyuk A.I., Leonova I.N., Ponomareva M.L., Vasilova N.Z., Shamanin V.P., Salina E.A. Fenotipicheskaya izmenchivost' selekcionnykh linii myagkoi pshenitsy (Triticumaestivum L.) po elementam struktury urozhaya v ekologicheskikh usloviyakh Zapadnoi Sibiri i Tatarstana [Phenotypic variability of breeding lines of common wheat (Triticumaestivum L.) according to yield structure elements in the environmental conditions of Western Siberia and Tatarstan] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2021. T. 56, № 1. S. 78–91. DOI: 10.15389/agrobiology.2021.1.78rus
 11. Chernousov E.V., Fomenko M.A., Stirmanova E. Yu. Otsenka kollektсионных образцов озимой пшеницы по элементам продуктивности в условиях засухи в степной зоне Ростовской области [Estimation of collection winter wheat samples according to yield structure elements under drought conditions in the steppe zone of the Rostov region] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 1(87). S. 40–45. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-87-1-40-45
 12. Yakushev V.P., Kanash E.V., Rusakov D.V., Yakushev V.V., Blokhina S.Yu., Petrushin A.F., Blokhin Yu.I., Mitrofanova O.A., Mitrofanov E.P. Korrelyatsionnye zavisimosti mezhdu vegetatsionnymi indeksami, urozhajem zerna i opticheskimi kharakteristikami list'ev pshenitsy pri raznom sodержanii v pochve azota i gustote poseva [Correlation between vegetation indices, grain productivity and optical characteristics of wheat leaves at different nitrogen content in soil and sowing density] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 1. S. 98–112. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.1.98rus

Поступила: 13.03.24; доработана после рецензирования: 18.04.24; принята к публикации: 25.04.24.

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. Киринов А.В. – выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Марченко Д.М. – концептуализация исследований; Иванисов М.М. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов; Рыбась И.А. – выполнение полевых опытов, анализ данных и их интерпретация; Зеленская Г.М. – концептуализация исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЛЮЦЕРНЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗА ТРЕХЛЕТНИЙ ЦИКЛ ВЫРАЩИВАНИЯ

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

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

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В статье представлены исследования, проведенные в коллекционном питомнике люцерны на опытных полях АНЦ «Донской» в период с 2021 по 2023 год. Цель исследований – определить зависимость урожайности зеленой массы коллекционных образцов люцерны от морфологических признаков растений. Объектом изучения стала коллекция люцерны, состоящая из 105 образцов, созданных в ФГБНУ «АНЦ «Донской». Посев проводили вручную с междурядьями 20 см. Площадь делянок 1 м², повторность двукратная. Норма высева люцерны составляла 2 г/м². Стандартный сорт – Ростовская 90. В результате изучения было выявлено, что в коллекционном питомнике в среднем за 3 года наибольшая урожайность зеленой массы люцерны формировалась в двух группах образцов по высоте растений: 1) 80–85 см – 8,10 кг/м² (СГП-424, СГП-401/2000); 2) 105–110 см – 7,88 кг/м² (СГП-162, СГП-189, СГП-175 и др.). Данный показатель продуктивности растений люцерны был наибольшим (7,81 кг/м²) в оптимальных значениях кустистости (15–20 шт.). Наибольшая урожайность зеленой массы люцерны формировалась у образцов с облиственностью 48–50 % и при облиственности 42–44 %. Урожайность зеленой массы образцов люцерны варьировала в пределах 3,33–10,49 кг/м². Выделились 7 образцов с урожайностью от 9,09 до 10,49 кг/м². Были выделены образцы, сочетающие наибольшую урожайность зеленой массы с высокорослостью и высокой облиственностью растений, а также наибольшей длиной листа и выходом сена.

Ключевые слова: люцерна, образцы, коллекция, урожайность зеленой массы, морфологические признаки.

Для цитирования: Горюнов К. Н., Регидин А. А., Игнатъев С. А. Влияние некоторых морфологических признаков коллекционных образцов люцерны на урожайность за трехлетний цикл выращивания // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 40–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-40-46.



THE EFFECT OF SOME MORPHOLOGICAL TRAITS OF COLLECTION ALFALFA SAMPLES ON PRODUCTIVITY THROUGH A THREE-YEAR GROWING CYCLE

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

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

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

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The current paper has presented the study conducted in the alfalfa collection nursery on the experimental plots of the Agricultural Research Center "Donskoy" in the period from 2021 to 2023. The purpose of the study was to determine the dependence of green mass productivity of collection alfalfa samples on the morphological traits of plants. The object of the study was a collection of alfalfa, consisting of 105 samples developed created at FSBSI ARC "Donskoy". Sowing was carried out manually, with row spacing of 20 cm. The area of the plots was 1 m², with double repetition. The seed-sowing rate for alfalfa was 2 g/m². The standard variety was 'Rostovskaya 90'. As a result, there was revealed that over 3 years the highest mean productivity of alfalfa green mass was formed in two groups of samples according to plant height: 1) 80–85 cm – 8.10 kg/m² (the samples 'SGP-424', 'SPCh 401/2000'); 2) 105–110 cm – 7.88 kg/m² ('SGP-162', 'SGP-189', 'SGP-175', etc.). This indicator of alfalfa productivity was the highest (7.81 kg/m²) in the optimal values of tillering (15–20 pcs.). The highest alfalfa green mass productivity was formed by the samples with foliage of 48–50 % and 42–44 %. The green mass productivity of alfalfa samples varied within the range of 3.33–10.49 kg/m². There have been identified 7 samples which productivity ranged from 9.09 kg/m² to 10.49 kg/m². There have been selected the samples that combined the highest green mass productivity with tallness and high foliage of plants, as well as the greatest leaf length and hay yields.

Keywords: alfalfa, samples, collection, green mass productivity, morphological traits.

Введение. Люцерна – это невероятно ценная и многогранная культура, которая используется в качестве сена, силоса или зеленого корма (Motsinger et al., 2021). Она идеально подходит для заготовки сена, сохраняя свои питательные свойства при высушивании. Силос из люцерны также является ценным источником питания для скота, обеспечивая его важными витаминами и минералами (Регидин и др., 2022). Кормовая масса люцерны в период цветения растений равна 21–23 кормовых единицы (на 100 кг). По содержанию белка превосходит многие другие корма: так, в 100 кг люцернового сена содержится 11,6 кг переваримого белка, 1,77 кг кальция, 0,22 кг фосфора, 4,5 г каротина (Игнатьев и Регидин, 2019).

Урожайность зеленой массы напрямую зависит от морфологических признаков. С увеличением высоты растений продуктивность зеленой массы повышается, но снижается содержание белка в растениях, при этом увеличивается содержание клетчатки в стеблях (Tusak et al., 2017). Количество стеблей увеличивается во время вегетации люцерны. Высокая урожайность зеленой массы достигается на стадии цветения люцерны, в дальнейшем из-за старения и опадения листьев с нижних затененных частей растений урожайность снижается (Игнатьев и др., 2021). Осенью в первые два года жизни кустистость снижается за счет сильной внутривидовой конкуренции, впоследствии количество стеблей на растении компенсируется с увеличением размера корней и корневой шейки. Листовые болезни, засуха и плодородие почвы влияют на кустистость, что приводит к снижению урожайности зеленой массы (Lu Q et al., 2021). Облиственность – важный показатель для качества корма. Для получения оптимального урожая зеленой массы необходимо учитывать соотношение листьев и стеблей (Игнатьев и др., 2019). Молодые растения отличаются большей облиственностью, с высоким содержанием сырого протеина и высоким уровнем усвояемости сухого вещества, поэтому уборку зеленой массы необходимо проводить в фазу начала цветения растений, так как по мере дальнейшего роста растений люцерны облиственность может снижаться (El-Ramady et al., 2020).

Морфологические признаки люцерны могут оказывать значительное влияние на формирование урожайности зеленой массы. Поэтому определение их оптимальных значений для получения максимальной урожайности является важной задачей в селекционной работе.

Целью исследований являлось определение зависимости урожайности зеленой массы коллекционных образцов люцерны от морфологических признаков растений.

Материалы и методы исследований. Изучение образцов люцерны проводили согласно методике по проведению полевых опытов с кормовыми культурами (Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами, 1997) и методике

полевого опыта (Доспехов, 2014). Для исследований использовали рабочую коллекцию люцерны, состоящую из 105 образцов, созданных в ФГБНУ «АНЦ «Донской». Посев проводили вручную с междурядьями 20 см. Делянки площадью 1 м² в двукратной повторности. В качестве стандартного сорта использовали люцерну Ростовская 90, которую высевали через каждые 10 номеров. Норма высева люцерны составляла 2 г/м². Уборку семян проводили комбайном «Wintersteiger Classic» при побурении 75–80 % бобов. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью Statistica 10.0 и Excel.

Результаты и их обсуждение. Степень развития растения определяется его высотой и связана с урожайностью образцов и сортов. Так как высота тесно связана с устойчивостью к полеганию, можно считать ее важнейшим признаком для селекции. Самые высокие и облиственные побеги формируют большую биомассу, особенно при использовании высоких доз удобрений.

В коллекционном питомнике в среднем за 3 года высота растений варьировала от 80,7 см (СПЧ-401) до 116,7 см (СГП-33). Среднерослая (70–90 см) группа включала в себя 11 % образцов, высокорослая (90–110 см) – 81 %, очень высокорослая группа (более 110 см) – 7 %. Стандартный сорт относился к высокорослой группе – 100 см (рис. 1).

График средних с ошибками показывает, что в среднем наибольшая урожайность зеленой массы формировалась в двух группах образцов по высоте растений: 1) 80–85 см – 8,10 кг/м² (СГП-424, СПЧ 401/2000); 2) 105–110 см – 7,88 кг/м² (СГП-162, СГП-189, СГП-175 и др.). Образцы с другими величинами этого признака имели низкую урожайность (рис. 2).

Кустистость имела широкий диапазон варьирования – от 10 (СГП-408) до 80 (СГП-187) побегов на одном растении (рис. 3). Величина этого признака у стандартного сорта люцерны Ростовская 90 составила 37,7 шт. Стандартный сорт превысили 27 % образцов.

Высокая урожайность зеленой массы (7,81 кг/м²) формировалась в оптимальных значениях кустистости – 15–20 шт. – у образцов СГП-408, СГП-424, СГП-402, СГП-158 (рис. 4).

Гистограмма показывает широкую вариативность облиственности растений в среднем за 3 года у коллекционных образцов люцерны – от 30 % (СГП 138) до 55 % (СГП-136). У стандарта облиственность составила в среднем 41,7 % (рис. 5). Образцы с высокой облиственностью (50–55 %) составили 3 % от общего количества коллекционных образцов.

Анализ графика на рисунке 6 показал, что наибольшая урожайность зеленой массы люцерны формировалась у образцов СГП-177, СГП-147, СГП-452 и др. с облиственностью 48–50 %, а также у образцов СГП-171, СГП-166, СГП-176 и др. при облиственности 42–44 %.

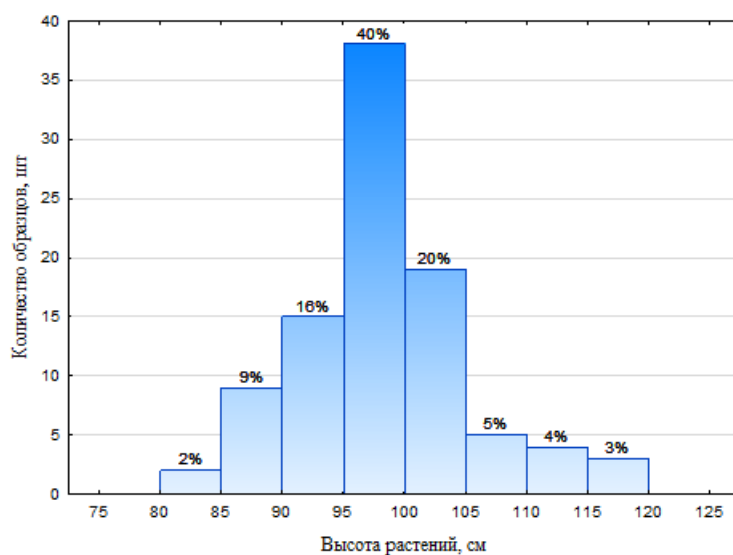


Рис. 1. Распределение образцов люцерны по высоте растений (2021–2023 гг.)
Fig. 1. Distribution of alfalfa samples according to a plant height (2021–2023)

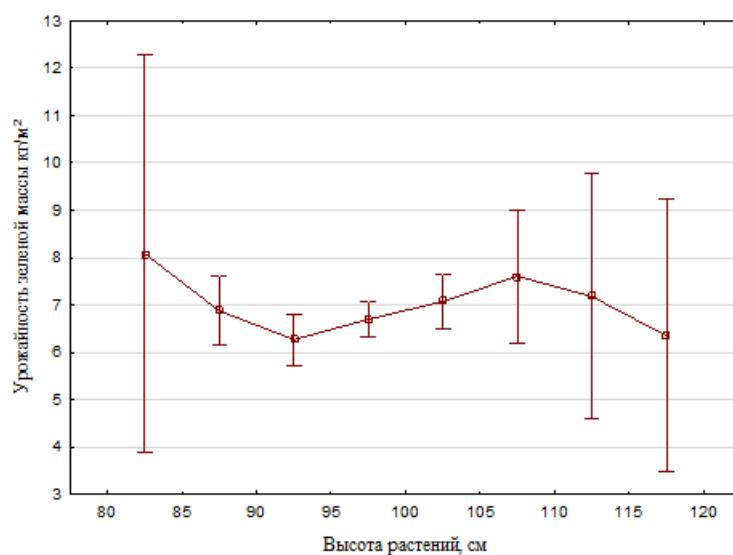


Рис. 2. Влияние высоты растений образцов люцерны на урожайность (2021–2023 гг.)
Fig. 2. Effect of plant height of alfalfa samples on productivity (2021–2023)

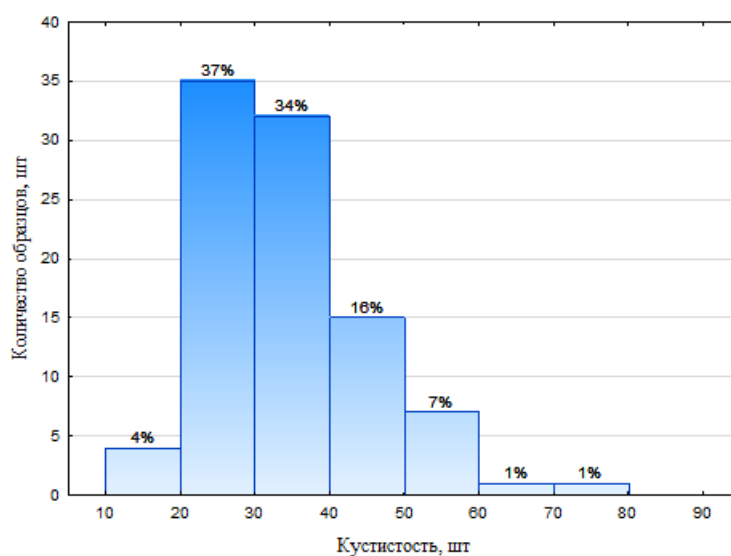


Рис. 3. Распределение образцов люцерны по кущению (2021–2023 гг.)
Fig. 3. Distribution of alfalfa samples according to tillering (2021–2023)

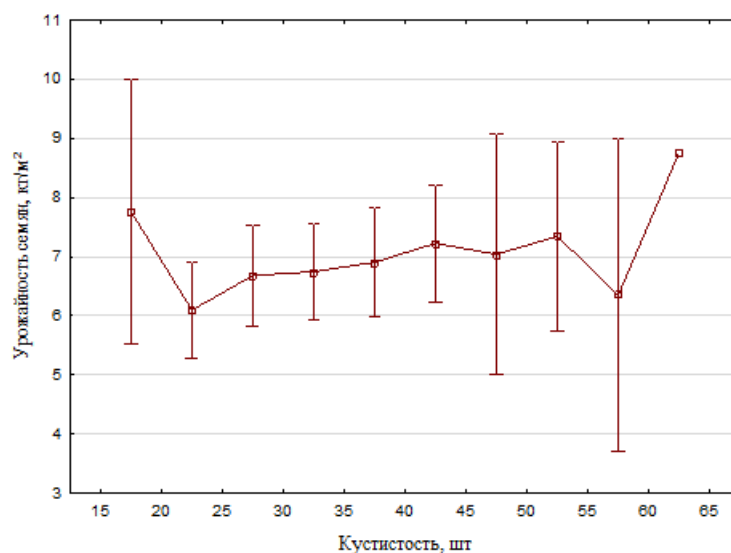


Рис. 4. Зависимость урожайности образцов люцерны от кущения (2021–2023 гг.)
Fig. 4. Dependence of alfalfa samples productivity on tillering (2021–2023)

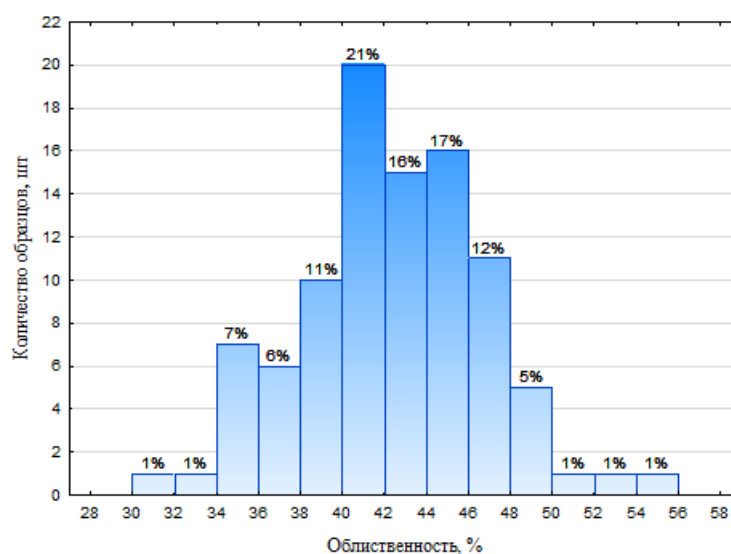


Рис. 5. Распределение коллекционных образцов люцерны по облиственности растений (2021–2023 гг.)
Fig. 5. Distribution of collection alfalfa samples according to plant foliage (2021–2023)

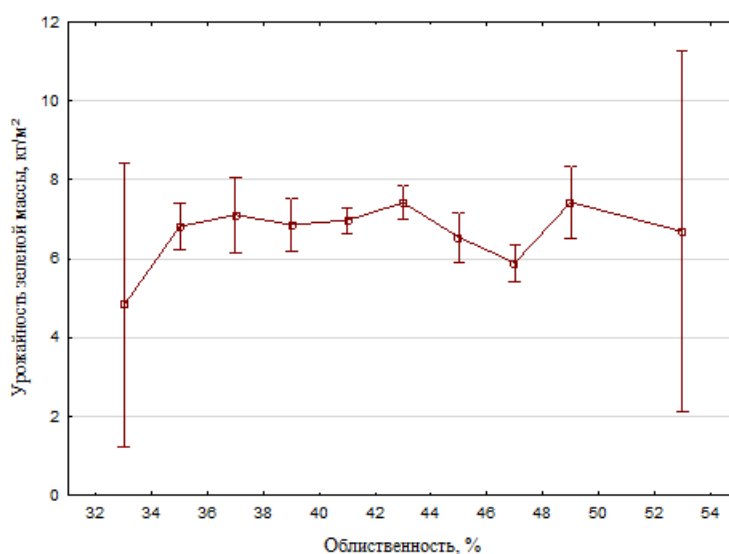


Рис. 6. Зависимость урожайности образцов люцерны от облиственности растений (2021–2023 гг.)
Fig. 6. Dependence of productivity of alfalfa samples according to plant foliage (2021–2023)

Гистограмма показывает, что урожайность зеленой массы у образцов коллекционного питомника варьировала от 3,33 кг/м² у образца СГП-143 до 10,49 кг/м² у образца СГП-438 (рис.7). Средняя урожайность зеленой массы стандартного сорта Ростовская 90 составила

6,65 кг/м². Практически половина образцов (48 %) формировали среднюю урожайность зеленой массы 6,00–7,95 кг/м². Превышающие стандартный сорт 57 % образцов имели урожайность в диапазоне 6,75–10,49 кг/м².

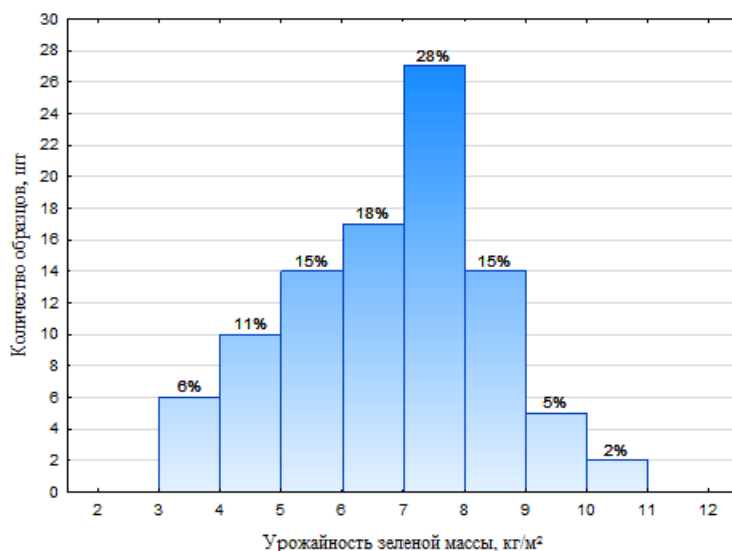


Рис. 7. Распределение коллекционных образцов люцерны по урожайности зеленой массы (2021–2023 гг.)
Fig. 7. Distribution of collection alfalfa samples according to green mass productivity (2021–2023)

В процессе изучения коллекционного материала были отобраны лучшие образцы люцерны по урожайности зеленой массы. Ниже представлены образцы, достоверно превышающие стандарт Ростовская 90 (см. таблицу). Стоит отметить образцы, сочетающие наибольшую урожайность зеленой массы с высокорос-

лостью и высокой облиственностью растений (СГП-438), а также сочетающие наибольшие длину листа и выход сена (СГП-424). Данные образцы представляют интерес для селекционной работы и могут быть использованы как источники при создании новых высокопродуктивных сортов.

Выделившиеся образцы люцерны по урожайности зеленой массы (2021–2023 гг.)
Highlighted alfalfa samples according to green mass productivity (2021–2023)

Образец	Урожайность зеленой массы, кг/м ²	Высота растений, см	Кустиность, шт.	Облиственность, %	Длина листа, см	Ширина листа, см	Выход сена, %
Ростовская 90, st	6,65	100,0	37,7	41,7	2,4	1,3	35,3
СГП-438	10,49	97,7	25,7	44,0	2,4	1,3	33,0
СГП-175	10,38	106,7	31,3	46,0	2,6	1,3	33,0
СГП-452	9,66	114,3	26,0	50,0	2,3	1,3	33,0
СГП-451	9,57	103,0	28,3	45,0	2,4	1,5	34,0
СГП-424	9,48	95,7	17,3	37,0	2,6	1,5	36,0
СГП-116	9,15	100,3	38,3	40,0	2,4	1,3	37,0
СГП-424	9,09	84,0	36,0	46,0	2,7	1,5	39,0
Среднее по коллекции	6,78	98,7	35,0	42,8	2,5	1,4	34,6
НСР ₀₅	1,66	7,0	10,9	4,3	0,2	0,1	2,4

Выводы. В результате проведенных исследований коллекционных образцов люцерны были выявлены морфологические признаки растений, влияющие на урожайность зеленой массы.

Высота растений люцерны в среднем за 3 года варьировала от 80,7 см (СПЧ-401) до 116,7 см (СГП-33). Наибольшая урожайность зеленой массы формировалась в двух группах образцов по высоте растений: 1) 80–85 см – 8,10 кг/м² (СГП-424, СПЧ 401/2000);

2) 105–110 см – 7,88 кг/м² (СГП-162, СГП-189, СГП-175 и др.).

Кустиность имела широкий диапазон варьирования – от 10 (СГП-408) до 80 (СГП-187) побегов на одном растении. Наибольшая урожайность зеленой массы люцерны (7,81 кг/м²) формировалась в оптимальных значениях кустиности 15–20 шт. у образцов СГП-408, СГП-424, СГП-402, СГП-158.

Облиственность варьировала от 30 % (СГП-138) до 55 % (СГП-136).

Наибольшая урожайность зеленой массы люцерны формировалась у образцов СГП-177, СГП-147, СГП-452 с облиственностью 48–50 %, а также у образцов СГП-171, СГП-166, СГП-176 и др. при облиственности 42–44 %.

Урожайность зеленой массы образцов люцерны варьировала в пределах 3,33–

10,49 кг/м². Выделились 7 образцов с урожайностью от 9,09 до 10,49 кг/м². Были выделены образцы, сочетающие наибольшую урожайность зеленой массы с высокорослостью и высокой облиственностью растений (СГП-452), а также сочетающие наибольшую длину листа и выход сена (СГП-424).

Библиографические ссылки

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
2. Игнат'ев С. А., Регидин А. А., Кравченко Н. С., Горюнов К. Н. Оценка параметров экологической адаптивности образцов люцерны по признакам «урожайность зеленой массы» и «содержание сырого протеина» // Зерновое хозяйство России. 2021. № 3. С. 34–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-34-40
3. Игнат'ев С. А., Регидин А. А., Грязева Т. В., Горюнов К. Н. Результаты изучения морфо-биологических признаков образцов люцерны из Северной Америки // Зерновое хозяйство России. 2019. № 2. С. 42–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-42-46
4. Игнат'ев С. А., Регидин А. А. Оценка хозяйственно-биологических признаков коллекционных образцов люцерны в условиях Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2019. № 5. С. 50–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-50-54
5. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. Под ред. Ю. К. Новоселова, В. Н. Киреева, Г. П. Кутузова и др. М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт кормов им. В. Р. Вильямса, 1997. 156 с.
6. Регидин А. А., Игнат'ев С. А., Горюнов К. Н., Кравченко Н. С. Оценка хозяйственно-биологических признаков исходного материала люцерны на юге Ростовской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23(4), С. 471–479. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.471-479
7. El-Ramady H., Abdalla N., Kovács S., Domokos-szabolcsy E., Bakonyi N., Fári M., Geilfus C. Sustainable Biorefinery of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) // Egyptian Journal of Botany. 2020. Vol. 60(3), P. 611–629. DOI: 10.21608/ejbo.2020.37749.1532
8. Lu Q., Wang Z., Sa D., Hou M., Ge G., Wang Z. J., Jia Y. The Potential Effects on Microbiota and Silage Fermentation of Alfalfa Under Salt Stress // Frontiers in microbiology. 2021. Vol. 12, Article number: 688695. DOI: 10.3389/fmicb.2021.688695
9. Motsinger A., Young A., Feuz R., Larsen R., Brady T., Briggs R., Bowman B., Pratt C., Thornton K. Effects of feeding a novel alfalfa leaf pellet product (ProLEAF MAX) and alfalfa stems (ProFiber Plus) on performance in the feedlot and carcass quality of beef steers // Translational Animal Science. 2021. Vol. 5, Iss. 3. Article number: txab098. DOI: 10.1093/tas/txab098
10. Tucak M., Popovic S., Cupic T., Krizmanic G. Drought stress responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) breeding populations // Romanian agricultural research. 2017. Vol. 34, P. 25–30.

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)]. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
2. Ignat'ev S. A., Regidin A. A., Kravchenko N. S., Goryunov K. N. Otsenka parametrov ekologicheskoi adaptivnosti obraztsov lyutserny po priznakam «urozhainost' zelenoi massy» i «soderzhanie syrogo proteina» [Estimation of the ecological adaptability parameters of alfalfa samples based on the traits 'green mass productivity' and 'crude protein percentage'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 3. S. 34–40. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-34-40
3. Ignat'ev S. A., Regidin A. A., Gryazeva T. V., Goryunov K. N. Rezul'taty izucheniya morfo-biologicheskikh priznakov obraztsov lyutserny iz Severnoi Ameriki [Study results of the morpho-biological traits of alfalfa samples from North America] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 2. S. 42–46. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-42-46
4. Ignat'ev S. A., Regidin A. A. Otsenka khozyaistvenno-biologicheskikh priznakov kollektсионnykh obraztsov lyutserny v usloviyakh rostovskoi oblasti [Estimation of economic and biological characteristics of collection alfalfa samples in the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 5. S. 50–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-50-54
5. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami [Methodical recommendations for conducting field trials with forage crops]. Pod red. Yu. K. Novoselova, V. N. Kireeva, G. P. Kutuzova i dr. M.: Vsesoyuznyi nauchno-issledovatel'skii institut kormov im. V. R. Vil'yamsa, 1997. 156 s.
6. Regidin A. A., Ignat'ev S. A., Goryunov K. N., Kravchenko N. S. Otsenka khozyaistvenno-biologicheskikh priznakov iskhodnogo materiala lyutserny na yuge Rostovskoi oblasti [Estimation of economic and biological characteristics of alfalfa initial material in the south of the Rostov region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2022. T. 23(4), S. 471–479. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.471-479
7. El-Ramady H., Abdalla N., Kovács S., Domokos-szabolcsy E., Bakonyi N., Fári M., Geilfus C. Sustainable Biorefinery of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) // Egyptian Journal of Botany. 2020. Vol. 60(3), P. 611–629. DOI: 10.21608/ejbo.2020.37749.1532
8. Lu Q., Wang Z., Sa D., Hou M., Ge G., Wang Z. J., Jia Y. The Potential Effects on Microbiota and Silage Fermentation of Alfalfa Under Salt Stress // Frontiers in microbiology. 2021. Vol. 12, Article number: 688695. DOI: 10.3389/fmicb.2021.688695

9. Motsinger A., Young A., Feuz R., Larsen R., Brady T., Briggs R., Bowman B., Pratt C., Thornton K. Effects of feeding a novel alfalfa leaf pellet product (ProLEAF MAX) and alfalfa stems (ProFiber Plus) on performance in the feedlot and carcass quality of beef steers // Translational Animal Science. 2021. Vol. 5, Iss. 3. Article number: txab098. DOI: 10.1093/tas/txab098

10. Tucak M., Popovic S., Cupic T., Krizmanic G. Drought stress responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) breeding populations // Romanian agricultural research. 2017. Vol. 34, P. 25–30.

Поступила: 15.04.24; доработана после рецензирования: 17.05.24; принята к публикации: 17.05.24.

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. Горюнов К.Н. – концептуализация исследования, подготовка рукописи; Регидин А.А., Игнатьев С.А. – анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ АНАТОМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СТЕБЛЯ НА ПОЛЕГАЕМОСТЬ ГОРОХА

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

И. А. Лобунская, младший научный сотрудник лаборатории клеточной селекции,
ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

Н. В. Яновская, агроном лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

Е. Ю. Черпакова, агроном лаборатории клеточной селекции, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

В настоящее время в нашей стране возрастает интерес к возделыванию высокотехнологичных сортов гороха, которые характеризуются равномерным созреванием, высокой продуктивностью и устойчивостью к полеганию. Таким образом, селекция на устойчивость к полеганию является одним из важнейших критериев в программах селекции гороха. Цель наших исследований – поиск анатомических показателей, способных служить критерием при отборе образцов гороха на устойчивость к полеганию. Полевые исследования проводили на полях лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, лабораторные исследования – в лаборатории клеточной селекции ФГБНУ АНЦ «Донской» в 2022–2023 годах. Оценку устойчивости к полеганию проводили на 22 образцах гороха посевного местной и инорайонной селекции. Изучаемые образцы отличались высотой растений, морфо-анатомическими особенностями строения стебля, а также устойчивостью к полеганию. По результатам оценки анатомического строения стебля гороха выделены образцы, характеризующиеся комплексом признаков (количество пучков, соотношение количества пучков к тканям стебля): Лу-153-06, Г-1234, Г-1193, Г-1288, АКМ, Г-1313, Флагман 10, Г-1313. Анализ корреляционных связей анатомических показателей с полевой устойчивостью к полеганию выявил высокую положительную связь с высотой стеблестоя ($r = 0,78 \pm 0,14$), среднюю отрицательную связь с высотой растений ($r = -0,66 \pm 0,17$) и среднюю положительную с количеством проводящих пучков ($r = 0,69 \pm 0,16$). Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод, что оценка устойчивости к полеганию по признаку «анатомическое строение стебля гороха» эффективна и может служить в качестве тестера на устойчивость к полеганию.

Ключевые слова: яровой горох, сорт, линия, устойчивость к полеганию, анатомическое строение стебля.

Для цитирования: Газе В. Л., Лобунская И. А., Яновская Н. В., Черпакова Е. Ю., Ашиев А. Р. Влияние анатомического строения стебля на полегаемость гороха // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 47–52. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-47-52.



THE EFFECT OF AN ANATOMICAL STRUCTURE OF A STEM ON PEA LODGING

V. L. Gaze, junior researcher of the laboratory for cell breeding,

ORCID ID: 0000-0002-4618-6125, l.fiziologii@yandex.ru;

I. A. Lobunskaya, junior researcher of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0003-1537-8498;

N. V. Yanovskaya, agronomist of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0002-6268-7915;

E. Yu. Cherpakova, agronomist of the laboratory for cell breeding, ORCID ID: 0000-0001-6198-6270;

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

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Currently, in our country there is growing interest in the cultivation of high-tech pea varieties, which are characterized by uniform maturity, high productivity, and lodging resistance. Thus, breeding for lodging resistance is one of the most important criteria in pea breeding programs. The purpose of the current study was to search for anatomical indicators that could serve as a criterion when selecting pea samples for lodging resistance. The field trials were carried out in the fields of the laboratory for legumes breeding and seed production, the laboratory study was conducted in the laboratory for cell breeding of the FSBSI "ARC "Donskoy" in 2022–2023. The estimation of lodging resistance was carried out on 22 pea samples of the regional and foreign breeding. The studied samples differed in plant height, morpho-anatomical features of a stem structure, and lodging resistance. Based on the results of estimating an anatomical structure of a pea stem, there were identified such samples with a complex of traits (number of bundles, ratio of a number of bundles to stem tissues) as 'Lu-153-06', 'G-1234', 'G-1193', 'G-1288', 'AKM', 'G-1313', 'Flagman 10', 'G-1313'. The analysis of correlations between anatomical indicators and field resistance to lodging has shown a high positive correlation with a stem height ($r = 0.78 \pm 0.14$), a mean negative correlation with a plant height ($r = -0.66 \pm 0.17$), and a mean positive correlation with a number of vascular bundles ($r = 0.69 \pm 0.16$). The experimental results allow

concluding that the estimation of lodging resistance based on an anatomical structure of a pea stem is effective and can serve as a tester for lodging resistance.

Keywords: *spring peas, variety, line, lodging resistance, anatomical structure of a stem.*

Введение. Основное значение среди возделываемых зернобобовых культур в России занимает горох, посевные площади которого составляют около 1427,7 тыс. га (доля в посевах 2,4 %), а в Ростовской области – 110,1 тыс. га (доля в посевах 3,0 %) (Росстат). Горох (*Pisum sativum* L.) является одной из основных высокобелковых культур, которая высоко ценится за свои питательные свойства, содержание большого количества растительного белка, клетчатки и витаминов, необходимых для использования в рационе питания человека и животных (Пислегина и Четвертных, 2018). Поэтому одно из приоритетных направлений в сельском хозяйстве – это расширение производства данной культуры (Белышкина, 2018; Ашиев и др., 2023). Биологическая урожайность гороха складывается из таких показателей, как число сформировавшихся продуктивных узлов на растении, количество завязавшихся бобов на узле, число семян в бобе и масса 1000 семян (Пономарева, 2018; Ashiev et al., 2024). Нередко весь сформировавшийся урожай семян гороха не удается полностью собрать по причине полеглости растений. Полеганием обычно называют состояние растений гороха, при котором стебли сгибаются, а продуктивная часть растения находится не высоко от поверхности почвы. Полегание растений вызывают многие факторы, в том числе и избыточное увлажнение в период вегетации, приводящее к интенсивному росту стебля и набору массы растений, развитие грибковых заболеваний, ослабляющих механическую прочность стебля, ухудшающих качество семян. Поэтому главным критерием в программах селекции гороха является его устойчивость к полеганию. В последнее время внимание производителей привлекают сорта гороха с неполегающим стеблем (Котляр и Ушаков, 2015). Полевая оценка устойчивости к полеганию зернобобовых является одним из приоритетных методов, но в годы с обильным количеством осадков в летний период проявление признака очень слабое, и оценка является неэффективной (Пинкаль и др., 2012; Karkanis et al., 2016). Лабораторная оценка устойчивости растений гороха к полеганию проведена с использованием модифицированной методики оценки устойчивости по анатомическому строению стебля зерновых культур (Газе и др., 2022). Изучение анатомического строения стебля дает возможность с большей точностью определить устойчивость растения к полеганию. Устойчивость растений гороха к полеганию связана с хорошим развитием периферического слоя склеренхимы к толщине стебля и наличием большего числа склеренхимных пучков. Проводящие пучки-тяжи, расположенные в хлорофилоносной паренхиме, образуют тяжи механической ткани, придающей прочность

стеблю. Склеренхима – механическая ткань, состоящая из клеток с утолщенными стенками (образует как бы каркас), придает прочность стеблю, не давая ему изгибаться (Fang et al., 2023; El-Okkiah et al., 2022). Цель наших исследований – поиск анатомических показателей, способных служить критерием при отборе образцов гороха на устойчивость к полеганию.

Материалы и методы исследований.

Объектом исследований стали 22 образца гороха посевного местной и инорайонной селекции. Полевые исследования вели на полях лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, лабораторные исследования – в лаборатории клеточной селекции ФГБНУ АНЦ «Донской» в 2022–2023 годах.

В фазу биологической спелости бобов отбирали по 5 растений каждого сорта (отрезок 6–7-го междоузлия части стебля гороха, в которой обычно происходит полегание) для анатомического исследования стебля. По каждому сорту анализировалось 15 поперечных срезов, сделанных вручную с помощью лезвия бритвы. Затем срезы окрашивали 1 %-м раствором метиленового синего в течение 15 с (Ильинская-Центилович и Тетерятченко, 1963; Ионова и др., 2009). Препарат просматривали с помощью микроскопа Soptop SZX12, изображения снимали цифровой камерой DXM 1200 (Nikon). В ходе исследования с помощью микрометра были измерены архитектура стебля, включая количество проводящих пучков на срезе стебля, их диаметр, площадь одного и всех пучков на срезе стебля, а также толщина паренхимы и склеренхимы.

Математическую и статистическую обработку данных проводили по методике полевого опыта в изложении Б. А. Доспехова (2014) с использованием компьютерных программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. Важным признаком, определяющим устойчивость к полеганию для гороха, является пригодность к механизированной уборке. Проведены исследования анатомического строения стебля сортообразцов гороха, контрастных по устойчивости. На рисунке 1 представлены фотографии срезов 6–7-го междоузлия части стебля – устойчивого к полеганию и полегающего образцов.

Анатомия поперечного разреза стебля у устойчивого к полеганию сорта показала, что образец имеет четко выраженные крупные коллатеральные проводящие пучки веерообразной формы, окруженные большим количеством склеренхимы, внутреннюю полость, заполненную паренхимой (рис. 1,а). Большое количество склеренхимных пучков, расположенные близко друг к другу, образуя тяжи механической ткани, обеспечивают значительную прочность стеблю. Значительные отличия

наблюдались при микроскопии препарата со срезом у лежащего образца (рис. 1,б): наличие большой внутренней полости, коллатеральные проводящие пучки меньших разме-

ров с менее четкой обкладкой склеренхимной ткани, поэтому стебли с таким строением гибкие и склонны к полеганию.

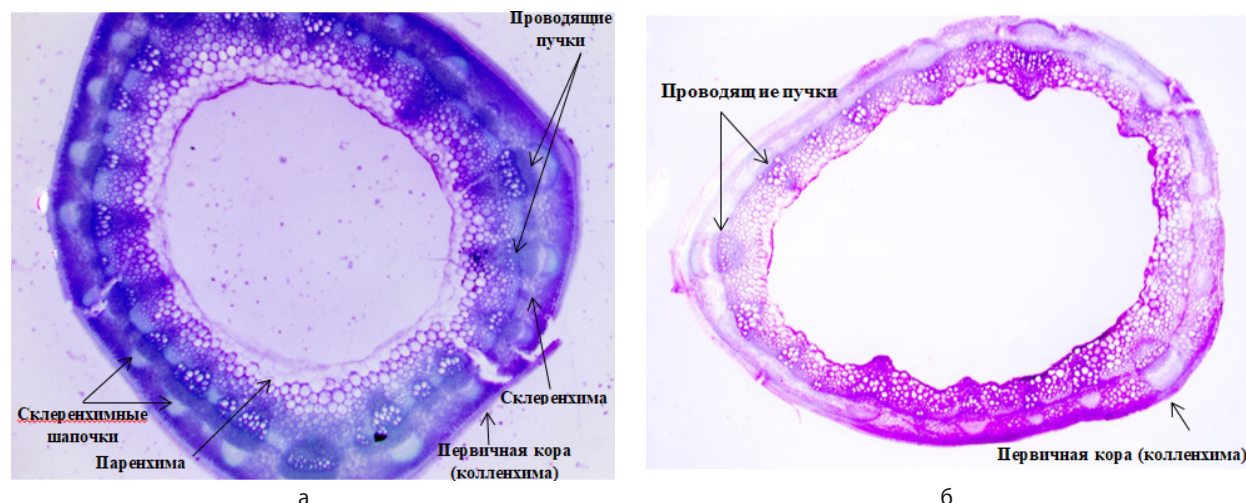


Рис. 1. Строение среза стебля: а) неполегающего гороха; б) полегающего гороха
Fig. 1. A structure of a stem cut: a) non-lodging peas; b) lodging peas

При оценке анатомического строения стебля гороха использовали следующие показатели: число склеренхимных пучков, общая площадь, площади склеренхимы и паренхимы среза стебля и их соотношение к толщине стенки стебля.

Изучаемые образцы гороха по результатам полевой оценки устойчивости к поле-

ганию (средний балл) имели разброс значений от 3 (Акацевидный, Визир, НС-01-68 и Рассеченно-листочковый) до 9 баллов (Флагман 10), а сорт стандарт Аксайский усатый – 5 – (5 баллов). Максимальные значения среднего балла устойчивости отмечены у образцов Флагман 10 (9 баллов), Г-1234, Лу-153-06 (по 8 баллов), Г-1313 (7 баллов) (см. табл.).

**Характеристика анатомического строения среза
и соотношение основных видов тканей стебля образцов гороха (2022–2023 гг.)
Characteristics of an anatomical structure of a cut
and a ratio of the main types of stem tissues of pea samples (2022–2023)**

Образец	Нраст, см	Нст, см	Уп, балл	Нпп, шт.	Дпп, мкм	Спп/Спар, %	Спп/Сск, %
Аксайский усатый-5, st	95,0	45	5	20,4	246,2	41,4	49,7
Акацевидный	88,4	25	3	20,8	264,0	29,0	40,5
НС -01-68	80,0	25	3	20,2	251,8	44,1	53,0
Рассеченно- листочковый	57,0	20	3	20,1	277,8	31,8	53,2
Аз-1420	67,8	40	6	23,4	305,5	38,7	32,7
Визир	64,3	20	3	20,4	283,1	43,3	47,4
Лу-153-06	53,2	45	8	24,4	270,6	34,5	51,8
Флагман 10	50,1	45	9	23,4	255,8	41,5	50,3
Скиф	99,0	40	4	19,6	283,4	34,8	42,2
Г-1159	84,1	35	4	19,1	248,6	30,2	40,7
Г-1172	82,5	35	4	23,4	300,0	23,7	39,8
Г-1168	98,5	45	4	20,5	254,7	33,0	36,8
АКМ	69,9	37	5	23,6	291,7	44,3	46,3
Г-1155	53,9	30	5	22,2	246,8	40,9	43,8
Казак	69,8	43	6	22,6	246,8	27,6	33,5
Г-1315	63,2	40	6	22,9	258,6	36,7	48,0
Г-1288	61,3	40	6	23,6	250,3	35,1	59,1
Г-1193	68,5	45	6	24,0	282,8	52,6	52,9
Г-1141	58,2	40	6	20,4	257,1	29,4	29,8
Г-1235	51,4	36	6	20,4	231,3	36,0	38,2
Г-1313	54,3	45	7	23,4	263,2	34,9	43,2
Г-1234	56,3	55	8	24,4	261,0	63,6	63,5

Примечания. Нраст – высота растений, см; Нст – высота стеблестоя, см; Уп – устойчивость к полеганию, балл; Нпп – количество проводящих пучков, шт.; Дпп – средний диаметр проводящего пучка, мкм; Спп/Спар – отношение площади проводящих пучков к площади паренхимы, %; Спп/Сск – отношение площади проводящих пучков к площади склеренхимы, %.

Исследования сортов гороха ярового с различной устойчивостью к полеганию выявили существенные различия между ними по анатомическому строению стебля (Кайгородова и др., 2023). Образцы с высокой полевой устойчивостью характеризуются наличием большого числа и диаметра сосудистых коллатеральных проводящих пучков с хорошо развитым наружным тяжем склеренхимы, состоящих из первичных волокон: Лу-153-06 (24,4 шт. и 270,6 мкм), Г-1234 (24,4 шт. и 261,0 мкм), Г-1193 (24,0 шт. и 282,8 мкм), Г-1288 (23,6 шт. и 250,3 мкм), АКМ (по 23,6 шт. и 291,7 мкм), Г-1313 (23,4 шт. и 263,2 мкм), Флагман 10 (23,4 шт. и 255,8 мкм) и Г-1313 (23,4 шт. и 263,2 мкм) по сравнению со стандартом Аксайский усатый-5 (20,4 шт. и 246,2 мкм). Значительную прочность стеблю придают проводящие пучки, окруженные большим количеством склеренхимы и расположенные недалеко друг от друга. Высокие значения соотношения количества пучков к паренхиме и склеренхимы к общей площади стебля выявлены у образцов Г-1234 (63,6 и 63,5 %),

Г-1193 (52,6 и 52,9 %), Флагман 10 (41,5 и 50,3 %), Лу-153-06 (34,5 и 51,8 %). Образец НС-01-68 хотя и имеет высокие значения соотношения (44,1 и 53,0 %), но не устойчив (3,1 балла), так как имеет небольшое количество проводящих пучков (20,2 шт.), общая площадь среза стебля 660,2 мкм², что свидетельствует о тонкостебельности, и высота растения составляет 80,0 см.

Чтобы получить более точную и быструю оценку результата, необходимо использовать данные о связи с признаками, особенно в том случае, когда один признак сложно измерить или трудно идентифицировать при оценке и отборе источников хозяйственно ценных признаков у перспективных селекционных форм (Кайгородова и др., 2023).

Проведен корреляционный анализ связи анатомических показателей (количество и площадь проводящих пучков, общая площадь стебля, площадь склеренхимы и паренхимы) с полевой оценкой устойчивости к полеганию (рис. 2).

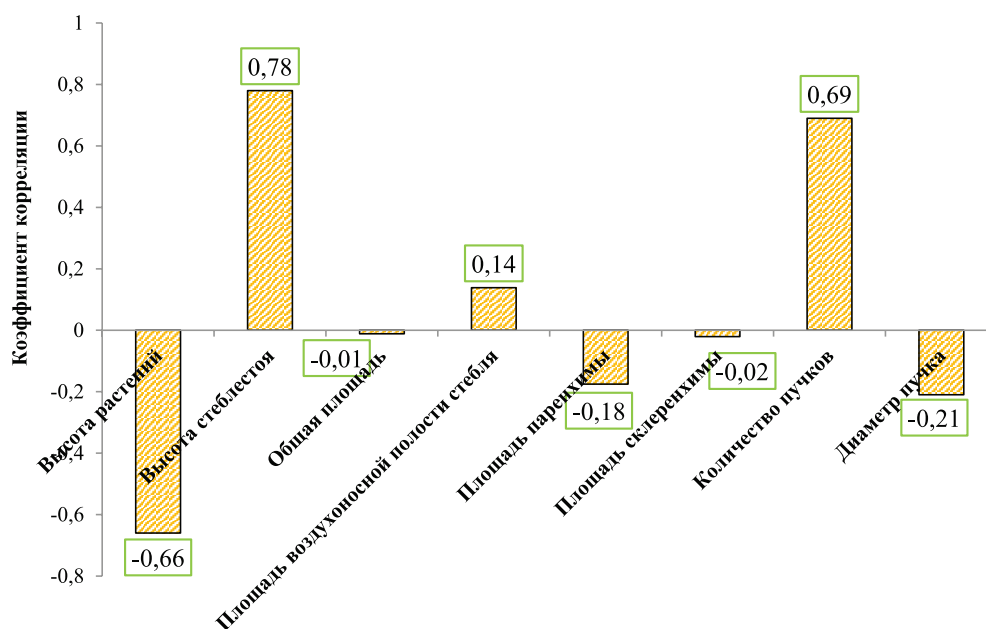


Рис. 2. Коэффициенты корреляции полевой оценки устойчивости к полеганию с высотой растений и стеблестоя и анатомическими показателями строения стебля образцов гороха
Fig. 2. Coefficients of correlation between a field estimation of lodging resistance and plant height, stem stand, anatomical indicators of a stem structure of pea samples

Выявлены высокая положительная связь устойчивости к полеганию с высотой стеблестоя ($r = 0,78 \pm 0,14$), средняя отрицательная связь с высотой растений ($r = -0,66 \pm 0,17$), средняя положительная – с количеством проводящих пучков ($r = 0,69 \pm 0,16$).

Выделенные образцы гороха Лу-153-06, Г-1234, Г-1193, Г-1288, АКМ, Г-1313, Флагман 10 можно использовать как исходный материал для дальнейшей селекционной работы по выведению новых устойчивых к полеганию сортов.

Выводы. Проведенные исследования являются рекомендацией по оценке сортов на устойчивость к полеганию по анатомиче-

скому строению стебля гороха. Выделены образцы Лу-153-06, Г-1234, Г-1193, Г-1288, АКМ, Г-1313, Флагман 10, характеризующиеся комплексом признаков (количество пучков, соотношение количества пучков к тканям стебля).

Анализируя корреляционные связи анатомических показателей с устойчивостью к полеганию, были выявлены связи:

- высокая положительная связь с высотой стеблестоя ($r = 0,78 \pm 0,14$);
- средняя отрицательная связь с высотой растений ($r = -0,66 \pm 0,17$);
- средняя положительная связь с количеством проводящих пучков ($r = 0,69 \pm 0,16$).

В результате полученных экспериментальных результатов можно заключить, что оценка по признакам анатомического строения сте-

бля гороха эффективна и может применяться как тестер устойчивости полегания.

Библиографические ссылки

1. 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
2. Бельшклина, М. Е. Проблема производства растительного белка и роль зерновых бобовых культур в ее решении // Природообустройство. 2018. № 2. С. 65–73. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-65-73
3. Газе В. Л., Яновская Н. В., Лобунская И. А., Костылев П. И., Марченко Д. М. Проводящая система флагового листа озимой пшеницы в условиях модельной засухи // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 3. С. 57–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-57-63
4. Ионова, Е. В. Методика оценки уровня развития проводящей системы колоснесущего междоузлия озимой пшеницы при различной водообеспеченности // Зерновое хозяйство России. 2009. № 4. С. 18–21.
5. Ильинская-Центилович М. А., Тетерятченко К. Г. Особенности анатомического строения стебля озимой пшеницы в связи с полеганием. Изв. АН СССР. Сер. биол. 1963. № 1. С. 105–107.
6. Кайгородова И. М., Котляр И. П., Ушаков В. А., Енгальчева И. А., Козарь Е. Г. Приоритетные направления современной селекции гороха овощного (*Pisum sativum* L.) // Овощи России. 2023. № (4). С. 5–12. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-4-5-12
7. Котляр И. П., Ушаков В. А. Устойчивость стебля гороха овощного к полеганию // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 5. С. 30–32.
8. Пинкаль А. В., Кривоко Ю. В., Кротова Л. А., Казыдуб Н. Г., Омелянюк Л. В. Оценка устойчивости к полеганию однодольных и двудольных культур на основе изучения анатомического строения стебля // Омский научный вестник. 2012. № 2(114). С. 172–175.
9. 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
10. Пономарева, С. В. Изучение исходного материала коллекции гороха в условиях Нижегородской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 63(2). С. 23–28. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.23-28
11. Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx (дата обращения: 08.04.24).
12. Ashiev A. R., Habibullin K. N., Skulova M. V., Pakhomov V. I. Assessment of adaptability parameters of zoned pea varieties // Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the far east (AFE-2022): Agricultural Cyber-Physical Systems. 2024. Vol. 733–1, P. 1079–1085. DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_104
13. Fang Q., Castro-Urrea F. A., Haederle F., Sanderson R. W., Silva D. A., Cowling W., Kennedy B. F. In vivo characterisation of field pea stem wall thickness using optical coherence tomography // Plant Methods. 2023. Vol. 19(1), Article number: 105.
14. Karkanis A., Ntatsi G., Kontopoulou C. K., Pristeri A., Bilalis D., Savvas D. Field pea in European cropping systems: Adaptability, biological nitrogen fixation and cultivation practices // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2016. Vol. 44(2), P. 325–336.
15. El-Okkiah S. A., El-Tahan A. M., Ibrahim O. M., Taha M. A., Korany S. M., Alsherif E. A., AbdElgawad H., Abo Sen E. Z. F., Sharaf-Eldin M. A. Under cadmium stress, silicon has a defensive effect on the morphology, physiology, and anatomy of pea (*Pisum sativum* L.) plants // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 997475.

References

1. Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V. Otsenka parametrov adaptivnosti obraztsov gorokha s raznym tipom lista [Estimation of adaptability parameters of pea samples with different leaf types] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 24–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-24-28
2. Belyshkina, M. E. Problema proizvodstva rastitel'nogo belka i rol' zernovykh bobovykh kul'tur v ee reshenii [The problem of vegetable protein production and the role of grain legumes in solving it] // Prirodoobustroistvo. 2018. № 2. S. 65–73. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-2-65-73
3. Gaze V. L., Yanovskaya N. V., Lobunskaya I. A., Kostylev P. I., Marchenko D. M. Provodyashchaya sistema flagovogo lista ozimoi pshenitsy v usloviyakh model'noi zasukhi [Conductive system of a winter wheat flag leaf under model drought conditions] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 3. S. 57–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-57-63
4. Ionova, E. V. Metodika otsenki urovnya razvitiya provodyashchei sistemy kolosonesushchego mezhdozuzliya ozimoi pshenitsy pri razlichnoi vodoobespechennosti [Methodology for estimating a level of development of the conductive system of the winter wheat spike-bearing internode at different water availability] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2009. № 4. S. 18–21.
5. Il'inskaya-Tsentilovich M. A., Teteryatchenko K. G. Osobennosti anatomicheskogo stroeniya steblya ozimoi pshenitsy v svyazi s poleganiem [Features of the anatomical structure of the winter wheat stem according to lodging]. Izv. AN SSSR. Ser. biol. 1963. № 1. S. 105–107.
6. Kaigorodova I. M., Kotlyar I. P., Ushakov V. A., Engalycheva I. A., Kozar' E. G. Prioritetnye napravleniya sovremennoi selektsii gorokha ovoshchnogo (*Pisum sativum* L.) [Priority directions of current vegetable pea breeding (*Pisum sativum* L.)] // Ovoshchi Rossii. 2023. № (4). S. 5–12. DOI: 10.18619/2072-9146-2023-4-5-12

7. Kotlyar I. P., Ushakov V. A. Ustoichivost' steblya gorokha ovoshchnogo k poleganiyu [Lodging resistance of a vegetable pea stem] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2015. № 5. S. 30–32.
8. Pinkal' A. V., Krivko Yu. V., Krotova L. A., Kazydub N. G., Omel'yanyuk L. V. Otsenka ustoichivosti k poleganiyu odnodol'nykh i dvudol'nykh kul'tur na osnove izucheniya anatomicheskogo stroeniya steblya [Lodging resistance estimation of monocotyledonous and dicotyledonous crops based on the study of the anatomical structure of a stem] // Omskii nauchnyi vestnik. 2012. № 2(114). S. 172–175.
9. 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
10. Ponomareva, S. V. Izuchenie iskhodnogo materiala kollektsii gorokha v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti [The study of the initial material of the pea collection in the Nizhny Novgorod region] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. № 63(2). S. 23–28. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.63.2.23-28
11. Rosstat [Rosstat (Federal State Statistics Service)]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx (data obrashcheniya: 08.04.24).
12. Ashiev A. R., Habibullin K. N., Skulova M. V., Pakhomov V. I. Assessment of adaptability parameters of zoned pea varieties // Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the far east (AFE-2022): Agricultural Cyber-Physical Systems. 2024. Vol. 733–1, P. 1079–1085. DOI: 10.1007/978-3-031-37978-9_104
13. Fang Q., Castro-Urrea F. A., Haederle F., Sanderson R. W., Silva D. A., Cowling W., Kennedy B. F. In vivo characterisation of field pea stem wall thickness using optical coherence tomography // Plant Methods. 2023. Vol. 19(1), Article number: 105.
14. Karkanis A., Ntatsi G., Kontopoulou C. K., Pristeri A., Bilalis D., Savvas D. Field pea in European cropping systems: Adaptability, biological nitrogen fixation and cultivation practices // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2016. Vol. 44(2), P. 325–336.
15. El-Okkiah S. A., El-Tahan A. M., Ibrahim O. M., Taha M. A., Korany S. M., Alsherif E. A., AbdElgawad H., Abo Sen E. Z. F., Sharaf-Eldin M. A. Under cadmium stress, silicon has a defensive effect on the morphology, physiology, and anatomy of pea (*Pisum sativum* L.) plants // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 997475.

Поступила: 15.05.24; доработана после рецензирования: 31.05.24; принята к публикации: 04.06.24.

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. Газе В. Л. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация; Лобунская И. А. – сбор данных и подготовка рукописи; Яновская Н. В., Черпакова Е. Ю. – проведение лабораторных опытов; Ашиев А. Р. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

АДАПТИВНОСТЬ СОРТОВ МЯГКОЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В КОНКУРСНОМ СОРТОИСПЫТАНИИ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

И. В. Торбина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, torbinaiv@udman.ru, ORCID ID: 0000-0002-9314-0605

Удмуртский НИИСХ – структурное подразделение Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, 426067, г. Ижевск, ул. им. Татьяны Бaramзиной, д. 34

Цель работы – оценить адаптивные свойства сортов озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании, выделить по комплексу хозяйственно ценных признаков лучшие для почвенно-климатических условий Удмуртской Республики. В 2020–2023 гг. проходили испытание семь сортов озимой пшеницы в сравнении со стандартом Волжская к и сортом Московская 39. Адаптивность сортов определяли по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой (1985), пластичность – по S.A. Eberhart и W.A. Russell (1966). Погодные условия в годы исследований (засушливые явления в 2021 и 2023 гг., условия избыточного увлажнения в 2022 г.) позволили оценить сорта по устойчивости к засухе, определить их устойчивость к полеганию, способность использовать благоприятные условия для формирования высокой урожайности. Выявлено, что наиболее адаптированными оказались сорта Чеберина и 26.12/6, в среднем за 2021–2023 гг. они сформировали наибольшую урожайность (50,0–50,1 ц/га) и обеспечили существенную прибавку – 5,5–5,6 ц/га к стандарту Волжская к. Эти же сорта существенно превысили стандарт по общей адаптивной способности (ОАС). Обнаружено, что селекционно-ценными сортами, сочетающими высокую продуктивность со стабильным урожаем, были сорта Любава, 2.05/3 и Чеберина. Высокую отзывчивость на улучшение условий среды имели сорта Чеберина, 26.12/6, Волжская к, А-332/2 ($b_p > 1$). По результатам многолетних исследований пластичный высокоурожайный сорт Чеберина передан на государственное сортоиспытание. Установлено, что сорт формирует крепкий упругий стебель, устойчивый к полеганию, средней высоты, в благоприятных условиях весенне-летнего периода увеличивает массу и длину колоса, его озерненность. Оценка пораженности болезнями в течение весенне-летней вегетации в 2022 г. показала, что сорт проявляет комплексную устойчивость к мучнистой росе, бурой ржавчине, септориозу колоса и листьев. Сорт формировал зерно третьего класса с показателями: стекловидность – 66 %, натура – 779 г/л, количество клейковины – 28 %, клейковина первой группы качества, содержание белка – 12,8 %.

Ключевые слова: мягкая озимая пшеница, конкурсное сортоиспытание, урожайность, адаптивность, перезимовка, качество зерна.

Для цитирования: Торбина, И. В. Адаптивность сортов мягкой озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании в Удмуртской Республике // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 53–59. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-53-59.



ADAPTABILITY OF WINTER BREAD WHEAT VARIETIES IN THE COMPETITIVE VARIETY TESTING IN THE UDMURT REPUBLIC

I. V. Torbina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, torbinaiv@udman.ru, ORCID ID: 0000-0002-9314-0605

Udmurt RIA, a structural branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of Sciences of the Russian Academy of Sciences, 426067, Izhevsk, Tatiyana Baramzina Str., 34

The purpose of the study was to evaluate the adaptive properties of winter wheat varieties in the competitive variety testing, to identify the best ones for the soil and climatic conditions of the Udmurt Republic based on a set of economically valuable traits. In 2020–2023 seven winter wheat varieties were tested in comparison with the standard 'Volzhskaya K' and the variety 'Moskovskaya 39'. The adaptability of the varieties was determined according to the method of A. V. Kilchevsky and L. V. Khotyleva (1985), S.A. Eberhart, W.A. Russell (1966). Weather conditions during the years of study (drought in 2021 and 2023, excessive moisture in 2022) made it possible to evaluate varieties for drought resistance, determine their resistance to lodging, and the ability to use favorable conditions to form high yields. It was revealed that the most adapted varieties were 'Cheberina' and '26.12/6', in 2021–2023 they formed the highest yield (50.0–50.1 hwt/ha) and provided a significant increase of 5.5–5.6 hwt/ha to the standard variety 'Volzhskaya K'. These varieties significantly exceeded the standard variety in general adaptive capacity (GAC). There was found that the varieties 'Lyubava', '2.05/3' and 'Cheberina' were the most valuable breeding varieties that combined high productivity with a stable yield. The varieties 'Cheberina', '26.12/6', 'Volzhskaya K', 'A-332/2' were highly responsive to improved environmental conditions ($b_p > 1$). Based on the study results, the adaptable, highly productive variety 'Cheberina' was sent to the state variety testing. There has been established that the variety forms a strong elastic stem of medium height, resistant to lodging, and increases ear weight and length, and its grain content in favorable conditions of the spring-summer period. An estimation of disease infection during the spring-summer growing season in 2022 showed that the variety possesses complex resistance to powdery mildew, leaf rust, and blotch of an ear and leaves. The variety formed grain of the third class with such indicators as 66 % of kernel hardness, 779 g/l of grain nature weight, 28 % of gluten of the first quality group, 12.8 % of protein in grain.

Keywords: winter bread wheat, competitive variety testing, productivity, adaptability, overwintering, grain quality.

Введение. Пшеница является одной из основных продовольственных культур, наиболее широко культивируемой злаковой культурой в мире (Khalid et al., 2022). В Удмуртской Республике доля озимой пшеницы в структуре посевных площадей была незначительна, в 2005–2023 гг. колебалась от 0,2 до 2,1 %, а площадь посева – от 1,8 до 24,5 тыс. га (Торбина и Хакимова, 2018; URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx). Сильное колебание урожайности озимой пшеницы в республике в основном связано с устойчивостью культуры к условиям осенне-зимнего и ранневесеннего периодов, перезимовке. Вопросами создания устойчивых сортов, способных противостоять действию повреждающих факторов среды, занимается адаптивная селекция. Главная особенность адаптивной селекции – оценка пластичности, стабильности и адаптивности генотипов, которую в основном проводят на заключительном этапе селекции, когда сорта испытываются в широком диапазоне сред (Рыбась, 2016; Nowosad et al., 2016; Kebede et al., 2023).

Целью исследований является оценка адаптивных свойств новых сортов мягкой озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании, выделение по комплексу хозяйственно ценных признаков лучших для почвенно-климатических условий Удмуртской Республики.

Материалы и методы исследований. Изучение сортов в конкурсном сортоиспытании проводили в 2020–2023 гг. в Удмуртском НИИСХ. Объектом исследований являлись семь сортов мягкой озимой пшеницы своей селекции в сравнении с сортами Волжская к (стандарт) и Московская 39. Сорта получены методом простой и ступенчатой гибридизации выделенных по хозяйственно ценным признакам сортов культуры. Площадь делянки 21–33 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое, во втором ярусе со смещением. Закладку полевых опытов, наблюдения и учеты проводили согласно Методике государственного сортоиспытания. Наблюдения, оценки по устойчивости к основным листовым болезням проводили по методическим указаниям ФИЦ ВИГРР им. Вавилова (Мережко и др., 1999). Математическую обработку данных – по Б.А. Доспехову (2014). Адаптивность сортов определяли по А.В. Кильчевскому и Л.В. Хотылевой (1985). Реакцию генотипа на улучшение условий среды определяли по величине коэффициента регрессии сорта на среду b_i по S.A. Eberhart, W.A. Russell в изложении В.З. Пакудина и Л.М. Лопатиной (1984). Определение содержания белка проводили на анализаторе инфракрасном «Инфраскан-1050».

Полевые опыты закладывали на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве с реакцией среды от слабокислой до нейтральной (5,0–6,1), с низким (2,0–2,2 %) содержанием гумуса, очень высоким (307–338 мг на 1 кг почвы)

содержанием подвижного фосфора, средним – очень высоким (103–290 мг на 1 кг почвы) содержанием обменного калия.

Предшественником селекционных посевов озимой пшеницы были сидераты – клевер луговой 3 г.п, донник белый. Посев опыта – в оптимальные сроки (26–31 августа) сеялкой СН-16, Клен. Весной после начала отрастания – подкормка аммиачной селитрой 1,5 ц/га (51 кг д.в./га) с последующим боронованием БЗСС-1,0. В конце фазы кущения – химическая защита гербицидами. Уборка комбайном Сампо-160 в фазу полной спелости.

В изучаемые годы метеорологические условия различались по условиям осенней и весенне-летней вегетации, условиям зимовки. 2020/2021 сельскохозяйственный год был с сухой и теплой осенью, морозными декабрем, февралем и мартом, засушливыми весенне-летними месяцами. Снежный покров установился 10 ноября, что преимущественно на 1–6 дней позднее средних многолетних сроков. Минимальная температура почвы на глубине залегания узла кущения озимых зерновых и корневой шейки многолетних трав была в декабре -1–5 °С, январе -1–3 °С, марте -1–2 °С. Снежный покров сошел 12 апреля. Гидротермические условия мая и июня были очень засушливыми (ГТК 0,4–0,5). В таких условиях колошение озимой пшеницы отметили в конце мая – первой декаде июня, восковую спелость – в конце июня – начале июля, на 2–3 недели раньше обычного.

Сентябрь 2021 г. был прохладнее нормы на 2 °С. В октябре наблюдали теплую и сухую погоду. Переход среднесуточной температуры через 0 °С состоялся 10 ноября. В условиях теплой и многоснежной зимы 2021–2022 гг. с конца февраля складывались условия для выпревания культуры – минимальная температура почвы на глубине узла кущения от -1 °С и выше. Сход снежного покрова был позднее многолетних сроков на неделю (21–23 апреля). В мае и июне наблюдали прохладную и влажную погоду. Условия увлажнения в мае и июне были избыточными (ГТК 1,5 и 2,33). В июле температура воздуха в среднем по республике оказалась выше обычного на 1–2 °С. Наблюдались очень засушливые условия – ГТК 0,40. Созревание сортов озимой пшеницы наступило 25–29 июля.

Осень 2022 г. была теплой и влажной, зима 2022/2023 г. – теплой и многоснежной, весна – ранняя, засушливое лето. Переход среднесуточной температуры через 0 °С и формирование устойчивого снежного покрова наблюдали 14–15 ноября. В течение зимы промерзание почвы было меньше нормы: в декабре на 10–35 см, в январе – 20–60 см, феврале – 45–75 см. Сход снега на полях озимой пшеницы отметили 26 марта, значительно (на три недели) раньше среднемноголетних сроков. В апреле и мае наблюдали повышенную температуру воздуха (на 4 °С теплее климатического уровня) при недостаточном количестве осадков

(4–6 % нормы). Формирование и налив зерна проходили в условиях засухи (ГТК июня 0,4).

Результаты и их обсуждение. Наибольшая средняя урожайность озимой пшеницы получена в 2022 г. – 57,2 ц/га, существенно ниже – в 2021 г. (на 28,6 ц/га) и в 2023 г. (на 12,0 ц/га, НСР₀₅ по фактору В – 2,2 ц/га) (табл. 1). Наибольшую урожайность в среднем за три года сформировали сорта Чеберина (50,1 ц/га) и 26.12/6 (50,0 ц/га), обеспечив прибавку соответственно 5,6 ц/га (НСР₀₅

по фактору А 3,7 ц/га) и 5,5 ц/га (НСР₀₅ по фактору А 3,8 ц/га). Сорта Московская 39, Италмас и ДаУР существенно снизили урожайность по сравнению со стандартом Волжская к в среднем за годы исследований (на 4,2–8,5 ц/га), в значительной степени (на 8,3–26,2 ц/га) – в дождливом 2022 году. 2022 г. был благоприятен для сорта А-332/2 (прибавка к стандарту Волжская к составила 6,3 ц/га), 2023 г. – для сорта Чеберина (прибавка составила 10,5 ц/га).

Таблица 1. Урожайность мягкой озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании, ц/га
Table 1. Winter bread wheat productivity in the competitive variety testing, hwt/ha

Генотип (фактор А)	Год (фактор В)			Средняя за 2021–2023 гг.	Отклонение от стандарта
	2021	2022	2023		
Волжская к, st	29,1	62,9	41,3	44,5	–
Московская 39	26,0	54,6***	40,4	40,3	-4,2*
Италмас	26,0	43,7****	43,0	37,6	-6,9*
ДаУР	25,2	36,8****	46,1	36,0	-8,5*
2.05/3	30,1	54,9***	45,5	43,5	-1,0
Чеберина	32,0	66,7	51,8***	50,1	5,6*
Любава	32,1	56,8	44,1	44,4	-0,2
А-332/2	25,8	69,2***	44,3	46,4	1,9
26.12/6	31,5	68,8	49,8	50,0	5,5**
Среднее по фактору В	28,6	57,2	45,2	–	–

НСР₀₅ по фактору В и взаимодействия АВ – 2,2 ц/га

Примечания. * – отклонение существенно, НСР₀₅ по фактору А 3,7 ц/га (полный набор дат);

** – отклонение существенно, НСР₀₅ по фактору А 3,8 ц/га (неполный набор дат);

*** – отклонение существенно, НСР₀₅ частных различий 6,3 ц/га (полный набор дат);

**** – отклонение существенно, НСР₀₅ частных различий 9,7 ц/га (неполный набор дат).

Существенное отличие между урожайностью сортов в годы исследования позволило определить параметры их адаптивности. Анализ адаптивной способности и стабильности, проведенный по методу А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой, показал, что по общей адаптивной способности (ОАС) сорта Чеберина и 26.12/6 существенно превысили стандарт Волжская к – на 5,6–5,7 ц/га при НСР₀₅ 5,6 ц/га (табл. 2). Ниже стандарта данный показатель

был отмечен у сорта ДаУР (-6,8 ц/га). Специфическая адаптивная способность (САС) по годам выглядела следующим образом. В дождливых условиях 2022 г. менее адаптивными, чем стандарт Волжская к, были сорта Италмас и ДаУР (на 12,4–17,7 ц/га при НСР₀₅ 8,4 ц/га). Условия 2023 г., наоборот, для сортов Италмас и ДаУР были существенно благоприятнее, чем для стандарта (прибавка показателя к стандарту Волжская к составила 8,5–13,2 ц/га).

Таблица 2. Параметры адаптивности и стабильности генотипов мягкой озимой пшеницы
Table 2. Adaptability and stability parameters of the winter bread wheat genotypes

Генотип	ОАС (v_i)	САС			Взаимодействие генотип – среда, $\sigma^2(G \times E)_{ij}$	Мера стабильности σ^2_{CAC}	Нелинейность ответа генотипа на среду, I_{gi}	Относительная стабильность, S_{gi}	Селекционная ценность, CDI_i	Реакция на улучшение условий среды, b_i
		2021	2022	2023						
Волжская к, st	0,8	-15,3	18,5	-3,1	20,1	289	0,07	38	19,2	1,2
Московская 39	-3,3	-14,3	14,3	0,1	-1,5	202	-0,01	35	19,2	1,0
Италмас	-6,1	-11,6	6,1	5,4	37,9	97	0,39	26	22,9	0,6
ДаУР	-7,6	-10,8	0,8	10,1	123,6	107	1,15	29	20,7	0,5
2.05/3	-0,2	-13,4	11,4	2,0	0,6	154	0,00	29	25,1	0,9
Чеберина	6,5	-18,2	16,5	1,6	6,6	300	0,02	35	24,5	1,2
Любава	0,7	-12,2	12,5	-0,2	2,9	150	0,02	28	26,2	0,9
А-332/2	2,8	-20,6	22,8	-2,1	62,3	473	0,13	47	14,2	1,5
26.12/6	6,4	-18,5	18,8	-0,2	18,6	345	0,05	37	22,4	1,3

За три года испытаний самым нестабильным был сорт А-332/2 (максимальная величина $\sigma_{\text{сac}}^2$). Наиболее устойчивая стабильность получена у сортов Италмас и ДаУР. Наибольшей селекционной ценностью (СЦГ) обладали сорта Любава, 2.05/3 и Чеберина, сочетавшие высокую продуктивность со стабильным урожаем. Самыми отзывчивыми на улучшение условий среды были сорта Чеберина, 26.12/6, Волжская к, А-332/2 ($b_i > 1$). Сорт ДаУР характеризовался нелинейной реакцией на среду ($I_{gi} > 1$).

В среднем за три года наибольшие показатели по массе зерна с колоса получены у сортов 26.12/6 (1,01 г) и Чеберина (0,98 г), по озерненности колоса – Чеберина (25,0 шт.), массе 1000 зерен – Любава (44,2 г) и 26.12/6 (43,6 г), продуктивной кустистости – Чеберина (2,24 стебля на растение), количеству продуктивных стеблей (581–596 шт./м²) – Московская 39, Волжская к, Италмас, 2.05/3, А-332/2. Сорт Чеберина характеризовался повышенной изменчивостью озерненности и длины колоса, продуктивной кустистости, коэффициент вариации составил 21–48 %. Слабую вариацию крупности зерна имели сорта Волжская к, ДаУР, 2.05/3, Чеберина, А-332/2; числа зерен – Италмас, Любава; количества продуктивных стеблей – ДаУР ($V = 3\text{--}8\%$).

В изучаемые годы перезимовка сортов озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании была высокой – от 68–85 % в 2022 г. до 90–97 % в 2023 г., в среднем составила 86–92 %. В среднем за три года более высокий уровень перезимовки (90–92 %) и слабую вариабельность (6–7 %) наблюдали у сортов Волжская к и А-332/2.

От болезней, вредителей и сорняков Россия ежегодно теряет от 20 до 30 % потенциального урожая зерна. Наибольший урон урожаю (до 70 %) в этом случае причиняют болезни вегетативных и репродуктивных органов (листьев, стебля, колоса) (Санин и др., 2020). Возбудитель склероциальной снежной плесени *Sclerotinia borealis*, являясь некротрофом, поражает, как правило, поврежденные морозом растения или переходит мицелием с пораженных растений (Tkachenko et al., 2015).

Действительно, наибольшее поражение озимой пшеницы склеротиниозом наблюдали весной в 2022 и 2023 гг., развитие болезни составило по сортам соответственно 15–28 и 13–35 %. По данным Удмуртского ЦГМС в предзимний период 2021 и 2022 гг. при высоте снежного покрова 1–5 см зафиксировано снижение температуры воздуха до критических для озимой пшеницы значений $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $-16\text{--}21\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно (URL: <https://udmpogoda.ru/category/agrometeo-rologicheskie-obzory>). В среднем за два года наименьшее развитие болезни (15 %) и низкую изменчивость ($V = 1\%$) отметили у стандарта Волжская к.

Низкотемпературный гриб *Microdochium nivale* является возбудителем розовой снежной плесени. Гриб развивается после длительного нахождения посевов пшеницы под снежным покровом при незамерзшей почве (Tkachenko et al., 2015). Распространенность снежной плесени после схода снега в 2021 и 2023 гг. была незначительной (до 5 %). Исключением был сорт А-332/2, который значительно (40 %) поразился в 2021 году. В 2022 г. поражение сортов болезнью находилось в пределах 8–18 %, менее других – у сортов А-332/2, Волжская к и Любава.

Дождливая прохладная погода мая–июня 2022 г. позволила оценить изучаемые сорта по устойчивости к листовостебельным болезням. Средняя устойчивость (5 баллов по 9-балльной шкале согласно методическим указаниям ФИЦ ВИГРР им. Вавилова, 1999) к мучнистой росе отмечена у сорта Волжская к и ДаУР, к бурой ржавчине – у сорта 2.05/3, к септориозу листьев – Московская 39 и ДаУР, к септориозу колоса – у сорта Италмас (табл. 3). Комплексную устойчивость к мучнистой росе, бурой ржавчине, септориозу колоса и листьев (7–9 баллов) имели сорта 26.12/6, А-332/2, Любава и Чеберина. Массовую распространенность корневых гнилей (100 %) наблюдали в 2021 г. в фазе выхода в трубку. Развитие болезни колебалось от 1,60 до 2,04 балла по 4-балльной шкале. Наименьшее отмечено по сортам Волжская к (1,60 балла), Чеберина (1,85), Любава (1,85 балла, НСР₀₅ 0,26 балла).

Таблица 3. Устойчивость сортов мягкой озимой пшеницы к листовостебельным болезням, балл (2022 г.)
Table 3. Resistance of the winter bread wheat varieties to leaf diseases, point (2022)

Сорт	Мучнистая роса	Септориоз листьев	Септориоз колоса	Бурая ржавчина
Волжская к, st	5	7	7	7
Московская 39	9	5	7	8
Италмас	7	7	5	7
16.05/1 (ДаУР)	5	5	7	7
2.05/3	7	7	7	5
Чеберина	7	7	7	7
Любава	7	7	7	7
332/2	7	7	7	9
26.12/6	9	9	7	9

Полегание стеблей – одна из серьезных проблем всех зерновых культур, которая может привести к огромной потере урожая (Multani et al., 2021). Полегания в 2021 и 2023 гг. не наблюдали. 2022 г. позволил оценить изучаемые сорта по данному показателю. Полегание отдельных сортов отметили с фазы колошения, когда низкую устойчивость (3,0 балла по 9-балльной шкале согласно методическим указаниям ФИЦ ВИГРР им. Вавилова, 1999) показали Италмас, ДаУР, Московская 39; среднюю (5,0 балла) – Волжская к, 2.05/3, Любава. В дальнейшем стеблестой полегших сортов поднялся. К уборке данный показатель сортов Италмас, ДаУР, 2.05/3, Любава был средним (5,5 балла). Высокоустойчивыми в течение всего сезона оказались сорта Волжская к, Чеберина, А-332/2, 26.12/6.

Основными показателями, по которым зерно пшеницы подразделяется на классы, являются тип и подтип пшеницы, массовая доля белка, количество и качество клейковины, число падения, стекловидность и натура зерна (ГОСТ 9353-2016 «Пшеница. Технические условия»). В среднем за 2021–2023 гг. стекловидность и натура сортов озимой пшеницы была высокой – соответственно 66–97 % и 766,1–794,9 г/л. Наиболее высокобелковое (13,8–14,3 %) зерно получено у сортов Волжская к и Московская 39. По содержанию белка зерно сортов Италмас, Чеберина, А-332/2 соответствует третьему классу (12,5–12,8 %), остальных сортов – четвертому (11,6–11,9 %). Содержание клейковины сорта Московская 39 высокое – 32 %, сортов Волжская к, Италмас, ДаУР, Чеберина, А-332/2 составило 28–30 % (соответствует второму классу), сортов 2.05/3, Любава, 26.12/6 – 25–26 % (соответствует третьему классу). Первая группа качества клейковины получена у сортов Московская 39, Чеберина, А-332/2, 2.05/3, 26.12/6, Любава (63–76 ед. ИДК), у других сортов – вторая группа (80–84 ед. ИДК). Таким образом, зерно наиболее высокого класса (второго) сформировал сорт Московская 39. К третьему классу можно отнести зерно сортов Волжская к, Италмас, Чеберина, А-332/2, к четвертому – ДаУР, 2.05/3, Любава, 26.12/6. Наиболее высоковариебельным среди других показателей было качество клейковины ($V = 24–64$ %). Изменчивость стекловидности зависела от сорта: слабая была у Московской 39 ($V = 8$ %), средняя – у Волжской к (16 %), у остальных сортов значительная. Коэффициент вариации количества клейковины колебался от 1 до 17 %. По данному показателю вариация сортов Волжская к, Московская 39, 2.05/3 была незначительной.

Выводы.

1. Наибольшую урожайность в среднем за три года сформировали сорта Чеберина (50,1 ц/га) и 26.12/6 (50,0 ц/га), обеспечив прибавку к стандарту Волжская к 5,6 ц/га ($НCP_{05}$ по фактору А 3,7 ц/га) и 5,5 ц/га ($НCP_{05}$ по фактору А 3,8 ц/га) соответственно. Они превыси-

ли стандарт по общей адаптивной способности. Самыми отзывчивыми на улучшение условий среды были сорта Чеберина, 26.12/6, Волжская к, А-332/2 ($b_i > 1$). Наибольшей селекционной ценностью (СЦГ) обладали сорта Любава, 2.05/3 и Чеберина, сочетавшие высокую продуктивность со стабильным урожаем.

2. Выявлена сортовая специфичность – условия 2022 г. были благоприятны для сорта А-332/2 и неблагоприятны для сортов Московская 39, Италмас и ДаУР. В первом случае получена прибавка урожайности 6,3 ц/га, во втором существенное снижение – 8,3–26,2 ц/га. В 2023 г. существенная прибавка урожайности к стандарту 10,5 ц/га получена у сорта Чеберина.

3. В среднем за три года наибольшие показатели по массе зерна с колоса получены у сортов 26.12/6 (1,01 г) и Чеберина (0,98 г), по озерненности колоса – Чеберина (25,0 шт.), массе 1000 зерен – Любава (44,2 г) и 26.12/6 (43,6 г), продуктивной кустистости – Чеберина (2,24 стебля на растение), количеству продуктивных стеблей (581–596 шт./м²) – Московская 39, Волжская к, Италмас, 2.05/3, А-332/2.

4. Перезимовка сортов озимой пшеницы в конкурсном сортоиспытании в среднем за три года была высокой (86–92 %). Более высокий уровень перезимовки (90–92 %) и слабую вариабельность (6–7 %) наблюдали у сортов Волжская к и А-332/2.

5. В среднем за 2022 и 2023 гг. наименьшее развитие склеротиниоза (15 %) и низкую изменчивость ($V = 1$ %) отметили у стандарта Волжская к.

6. В провокационных условиях 2022 г. высоко устойчивыми к полеганию оказались сорта Волжская к, Чеберина, А-332/2, 26.12/6. Комплексную устойчивость к мучнистой росе, бурой ржавчине, септориозу колоса и листьев (9 баллов) имели сорта 26.12/6, А-332/2, Любава и Чеберина.

7. Зерно наиболее высокого класса (второго) сформировал сорт Московская 39. К третьему классу можно отнести зерно сортов Волжская к, Италмас, Чеберина, А-332/2, к четвертому – ДаУР, 2.05/3, Любава, 26.12/6.

8. По результатам многолетних исследований пластичный высокоурожайный сорт Чеберина передан на государственное сортоиспытание. Сорт формировал крепкий упругий стебель, был устойчивым к полеганию. Среднерослый. На благоприятные условия весенне-летнего периода отзывался увеличением длины колоса и его озерненности. Проявил комплексную устойчивость к мучнистой росе, бурой ржавчине, септориозу колоса и листьев в 2022 году. Формировал зерно третьего класса качества.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания «Разработка научных основ создания систем земледелия нового поколения, проектирования высоко-

эффективных агротехнологий, технологий болезней сельскохозяйственных животных» производства продукции животноводства, (тема № FUUE-2022-0001). методов терапии и профилактики массовых

Библиографические ссылки

1. Агrometeorologicheskie obzory [Электронный ресурс]. URL: <https://udmpogoda.ru/category/agrometeo-ologicheskie-obzory> (дата обращения 22.11.2023).
2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 6-е изд., перераб. и доп., стереотип. М.: Альянс, 2014. 352 с.
3. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Методы оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды. Сообщение 2. Числовой пример и обсуждение // Генетика. 1985. Т. 21, № 9. С. 1491–1498.
4. Мережко А. Ф., Удачин Р. А., Зуев В. Е., Филатенко А. А., Сербин А. А., Ляпунова О. А., Косов В. Ю., Куркиев У. К., Охотникова Т. В., Наврузбеков Н. А., Богуславский Р. Л., Абдулаева А. К., Чикида Н. Н., Митрофанова О. П., Потокина С. А. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале. Методические указания. СПб.: Изд-во ФГБНУ «ФИЦ ВИР им. Н. И. Вавилова», 1999. 82 с.
5. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109–113.
6. Посевные площади сельскохозяйственных культур [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx (дата обращения 24.04.2024).
7. Рыбась, И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus
8. Санин С. С., Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Карлова Л. В., Корнева Л. Г., Рулева О. М. Интенсификация производства зерна пшеницы, фитосанитария и защита растений в Центральном районе России // Агрохимия. 2020. № 10. С. 36–44. DOI: 10.31857/S0002188120100105
9. Торбина И. В., Хакимова А. Г. Исходный материал для селекции озимой пшеницы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 6. С. 34–37. DOI: 10.30850/vrsn/2018/6/34-37
10. Khalid A., Hameed A., Shamim S., Ahmad J. Divergence in single kernel characteristics and grain nutritional profiles of wheat genetic resource and association among traits // Frontiers in Nutrition. 2022. Vol. 8, Article number: 805446. DOI: 10.3389/fnut.2021.805446
11. Kebede G., Worku W., Jifar H., Feyissa F. Stability analysis for fodder yield of oat (*Avena sativa* L.) genotypes using univariate statistical models under diverse environmental conditions in Ethiopia // Ecological Genetics and Genomics. 2023. Vol. 29, Article number: 100202. DOI: 10.1016/j.egg.2023.100202
12. Multani D. S., Jiao S., Jung M. T., Simcox K. D. Stalk strength improvement in crop plants: a progress report // Annual Plant Reviews. 2021. № 4. P. 357–396. DOI: 10.1002/9781119312994.apr0764
13. Nowosad K., Liersch A., Popławska W., Bocianowski J. Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model // Euphytica. 2016. DOI: 10.1007/s10681-015-1620-z
14. Tkachenko O. B., Ovsyankina A. V., Shchukovskaya A. G. Snow molds: History of the study and control // Agricultural Biology. 2015. Vol. 50, № 1. P. 16–29. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.1.16rus

References

1. Agrometeorologicheskie obzory [Agrometeorological review] [Elektronnyi resurs]. URL: <https://udmpogoda.ru/category/agrometeo-ologicheskie-obzory> (data obrashcheniya 22.11.2023).
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)]. 6-e izd., pererab. i dop., stereotip. M.: Al'yans, 2014. 352 s.
3. Kil'chevskii A. V., Khotyleva L. V. Metody otsenki adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differentsiruyushchei sposobnosti sredy. Soobshchenie 2. Chislovoi primer i obsuzhdenie [Methods for estimating the adaptive capacity and stability of genotypes, the differentiating ability of the environment. Information 2: Numerical example and discussion] // Genetika. 1985. T. 21, № 9. S. 1491–1498.
4. Merezko A. F., Udachin R. A., Zuev V. E., Filatenko A. A., Serbin A. A., Lyapunova O. A., Kosov V. Yu., Kurkiev U. K., Okhotnikova T. V., Navruzbekov N. A., Boguslavskii R. L., Abdulaeva A. K., Chikida N. N., Mitrofanova O. P., Potokina S. A. Popolnenie, sokhranenie v zhivom vide i izuchenie mirovoi kollektsii pshenitsy, egilopsa i triticales [Replenishment, preservation in a living form and study of the world collection of wheat, aegilops and triticales]. Metodicheskie ukazaniya. SPb.: Izd-vo FGBNU «FITs VIR im. N. I. Vavilova», 1999. 82 s.
5. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti sortov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Estimation of environmental adaptability and stability of crop varieties] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 1984. № 4. S. 109–113.
6. Posevnye ploshchadi sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Areas sown with agricultural crops] [Elektronnyi resurs]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2023.xlsx (data obrashcheniya 24.04.2024).
7. Rybas', I. A. Povyshenie adaptivnosti v selektsii zernovykh kul'tur (obzor) [Adaptability improvement in the breeding of grain crops (review)] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2016. T. 51, № 5. S. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus
8. Sanin S. S., Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Karlova L. V., Korneva L. G., Ruleva O. M. Intensifikatsiya proizvodstva zerna pshenitsy, fitosanitariya i zashchita rastenii v Tsentral'nom raione Rossii [Intensification of wheat grain production, phytosanitary and plant protection in the Central region of Russia] // Agrokimiya. 2020. № 10. S. 36–44. DOI: 10.31857/S0002188120100105

9. Torbina I.V., Khakimova A.G. Iskhodnyi material dlya selektsii ozimoi pshenitsy [Initial material for breeding winter wheat] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2018. № 6. S. 34–37. DOI: 10.30850/vrsn/2018/6/34-37
10. Khalid A., Hameed A., Shamim S., Ahmad J. Divergence in single kernel characteristics and grain nutritional profiles of wheat genetic resource and association among traits // Frontiers in Nutrition. 2022. Vol. 8, Article number: 805446. DOI: 10.3389/fnut.2021.805446
11. Kebede G., Worku W., Jifar H., Feyissa F. Stability analysis for fodder yield of oat (*Avena sativa* L.) genotypes using univariate statistical models under diverse environmental conditions in Ethiopia // Ecological Genetics and Genomics. 2023. Vol. 29, Article number: 100202. DOI: 10.1016/j.egg.2023.100202
12. Multani D.S., Jiao S., Jung M.T., Simcox K.D. Stalk strength improvement in crop plants: a progress report // Annual Plant Reviews. 2021. № 4. P. 357–396. DOI: 10.1002/9781119312994.apr0764
13. Nowosad K., Liersch A., Popławska W., Bocianowski J. Genotype by environment interaction for seed yield in rapeseed (*Brassica napus* L.) using additive main effects and multiplicative interaction model // Euphytica. 2016. DOI: 208.10.1007/s10681-015-1620-z
14. Tkachenko O.B., Ovsyankina A.V., Shchukovskaya A.G. Snow molds: History of the study and control // Agricultural Biology. 2015. Vol. 50, № 1. P. 16–29. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.1.16rus

Поступила: 29.03.24; доработана после рецензирования: 26.04.24; принята к публикации: 03.05.24.

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

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Торбина И. В. – разработка концепции, сбор и обработка экспериментальных данных, написание статьи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

В. Ф. Хлыстунов^{1,2}, доктор технических наук, ученый секретарь по механизации и электрификации, профессор кафедры ТиОПП АПК, vnptim@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

А. А. Донцова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства ячменя, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

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

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

²ВГОУ ВО Донской государственный технический университет, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 2, e-mail: reception@donstu.ru

В статье представлены результаты анализа перспективных линий и сортов озимого ячменя селекции ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» с целью отбора ценных генотипов для использования в селекционных программах. За основу анализа изучаемых образцов взята методика комплексной оценки результатов селекции, разработанная учеными из ФГБНУ «АНЦ «Донской» и ФГБОУ ВО ДГТУ. Исследования проводили в 2021–2023 гг. в ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской». Посев произведен в 6-кратной повторности, стандарт – сорт местной селекции Тимофей. Проведен анализ наиболее значимых 14 хозяйственно ценных признаков, определенных существенными согласно методике комплексной оценки идентификаторов селекции ячменя. Цель исследований – провести сравнительную оценку селекционных линий озимого ячменя по наиболее значимым признакам для отбора перспективных образцов. Изучаемые сорта и линии были ранжированы по комплексу признаков и свойств на три группы: перспективные, малоперспективные и неперспективные. К группе перспективных были отнесены новые сорта Степ и Алабай, переданные на Государственное изучение по 2, 5, 6 и 8 регионам РФ в 2022 и 2023 гг. соответственно, а также линии Параллелум 2015, Параллелум 2136, Паллидум 2100 и Безостый 2074, характеризующиеся высокими показателями комплекса основных хозяйственно ценных признаков и свойств. Данные образцы будут включены в план передачи на изучение в Госкомиссии РФ по испытанию и охране селекционных достижений.

Ключевые слова: ячмень озимый, линия, сортоиспытание, урожайность, масса 1000 зерен, количество зерен в колосе.

Для цитирования: Для цитирования: Хлыстунов В. Ф., Донцова А. А., Донцов Д. П. Результаты оценки перспективных сортов и линий озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 60–67. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-60-67.



RESULTS OF ESTIMATING PROMISING WINTER BARLEY VARIETIES AND LINES

V. F. Khlystunov^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, scientific secretary for mechanization and electrification; professor of the department, vnptim@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

A. A. Dontsova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of barley breeding and seed production, doncova601@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-6570-4303;

D. P. Dontsov¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0001-9253-3864;

¹FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”, 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; email: vniizk30@mail.ru

²FSBEI HE “Donskoy State Technical University” 344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 2, e-mail: reception@donstu.ru

The current paper has presented the results of an analysis of promising winter barley lines and varieties developed by the FSBSI “Agricultural Research Center “Donskoy” to select valuable genotypes for breeding programs. The basis for the analysis of the studied samples was the methodology for a comprehensive estimation of breeding results, developed by the researchers from the FSBSI “ARC “Donskoy” and the FSBEI HE DSTU. The study was conducted at the FSBSI “Agricultural Research Center “Donskoy” in 2021–2023. Sowing was carried out in 6-fold repetition, the local variety ‘Timofey’ was taken as a standard. There have been analyzed 14 economically valuable traits, identified as the most significant according to the methodology for a comprehensive estimation of barley breeding identifiers. The purpose of the current study was to conduct a comparative estimation of breeding winter barley lines according to the most significant traits for the selection of promising samples. The studied varieties and lines were ranked according to a set of traits and properties into three groups, such as promising, not very promising, and unpromising. The promising group included the new varieties ‘Step’ and ‘Alabai’, sent to the State study in 2, 5, 6 and 8 regions of the Russian Federation in 2022 and 2023, respectively, as well as the lines ‘Parallelum 2015’, ‘Parallelum 2136’, ‘Pallidum 2100’ and ‘Bezosty 2074’, characterized by high indicators of a complex of basic economically valuable characteristics and properties. These samples are being planned to send to the State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements.

Keywords: winter barley, line, variety testing, productivity, 1000-grain weight, number of grains per head.

Введение. По производству ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и занятым под этой культурой площадям Россия занимает первое место в мире. Как скороспелая, засухоустойчивая и солевыносливая культура ячмень возделывается практически во всех регионах страны, легко приспосабливаясь к контрастным условиям климата и разнообразию почв (Прядун и Шаталина, 2022).

В настоящее время повышение продовольственной безопасности страны является одной из основных стратегий развития растениеводческой отрасли России (Николаев и др., 2022). Получение стабильной урожайности с высоким качеством позволит не только создать стратегические запасы, но также увеличить экспорт зерна на международный рынок (Филиппов и др., 2022).

В связи с глобальными климатическими изменениями последних лет остро стоит вопрос повышения адаптивного потенциала сельскохозяйственных культур как в экологическом градиенте, так и в способности формировать стабильный уровень урожайности в разные по гидротермическим условиям годы (Николаев и др., 2020; Macholdt and Honermeier, 2016).

Одним из наиболее эффективных путей достижения данной цели является селекция. Селекция озимого ячменя направлена на создание сортов с высокой урожайностью, высоким качеством зерна, устойчивостью к болезням и вредителям, адаптированных к конкретным климатическим условиям и сельскохозяйственным технологиям. Селекция ячменя является сложным и многолетним процессом, требующим специальных знаний, опыта и использования современных селекционных методов и технологий. Результаты селекции помогают производителям ячменя получать более устойчивые и продуктивные сорта, что положительно сказывается на качестве и объемах его производства. Одной из наиболее важных задач селекционной работы является оценка и отбор селекционных образцов с целью получения новых сортов, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям.

При формировании банка наиболее ценных генотипов озимого ячменя необходимо учесть 63 различных хозяйственно ценных признака (идентификатора), что делает решение такой задачи весьма и весьма проблематичной, а зачастую просто субъективной, когда за основу берут два-три показателя (для сельхозкультур чаще только урожайность). Такая многокритериальная задача сравнения не имеет строгого решения, тогда как для оптимизационных задач в различных областях познания создано достаточно много надежных способов и методов (Подиновская и Подиновский, 2014).

В настоящее время стоит вопрос необходимости комплексной оценки селекционного процесса, который позволил бы однозначно оценить его результаты. Сравнительный анализ сортов, по сути, является многокри-

териальной задачей, поскольку они оцениваются по десяткам признаков (идентификаторов). Так, у пшеницы их 66, у ячменя – 63, у гороха – 88, у сорго – 49, у кукурузы – 63 и др. В 2023 г. учеными из ФГБНУ «АНЦ «Донской» и ФГБОУ ВО ДГТУ была разработана методика комплексной оценки идентификаторов селекции ячменя. В результате экспертной оценки признаков было проведено ранжирование, и из 27 факторов выделены 14 существенных (наиболее значимых), определенных учеными-селекционерами из ведущих профильных научных и учебных заведений Москвы, Ставрополя, Симферополя, Воронежа. Следует отметить, что результаты опроса ученых были проверены на достоверность по согласованности мнения экспертов и неслучайности их согласованности. Установлено, что согласованность мнения экспертов более чем неслучайна (Khlistunov et al, 2023). Данная методика рекомендуется к использованию на завершающих этапах сортоизучения.

Цель исследований – провести сравнительную оценку селекционных линий озимого ячменя по наиболее значимым признакам для отбора перспективных образцов.

Материалы и методы исследований. Полевые и лабораторные исследования проведены в 2021–2023 гг. на базе ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Ростовская обл.). В качестве объекта исследований использовали 10 сортов и линий озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Посев производили в оптимальные сроки сеялкой Wintersteiger Plotseed в 6-кратной повторности. Площадь делянки 10 м². В качестве стандарта использовали сорт местной селекции Тимофей. Уборку осуществляли механизированным способом комбайном Wintersteiger Classic.

Учеты, наблюдения и оценки селекционного материала проводили согласно Методике государственного сортоиспытания с.-х. культур (2019). Математическую обработку полученных данных производили по методике полевого опыта в изложении Б. А. Доспехова (2014).

Оценку селекционных образцов озимого ячменя проводили по 14 наиболее значимым признакам, определенным в результате комплексной оценки идентификаторов селекции ячменя и являющимся лимитирующими в условиях юга России.

2021 г. характеризовался повышенным температурным режимом и неравномерным распределением осадков в течение года. Среднегодовая температура воздуха составила 11,7 °С, превысив многолетнюю на 2,0 °С. Осенью 2020 г. сложились неблагоприятные погодные условия для посева озимого ячменя. В сентябре выпало всего 2,7 мм осадков. К моменту оптимальных сроков сева озимого ячменя запасов продуктивной влаги в почве было недостаточно. Октябрь и ноябрь также характеризовались недобором осадков и повышенным температурным режимом. В зимний период выпало 117,3 мм (80,5 % от среднеемноголет-

ней нормы) осадков в виде дождя и мокрого снега при повышенном температурном режиме (1,3 °C). Минимальная температура воздуха опускалась до -17 °C. Температура на глубине залегания узла кущения опускалась до -5 °C. Но несмотря на это, перезимовка растений озимого ячменя прошла хорошо, гибели растений не наблюдалось. Весна 2021 г. характеризовалась повышенным температурным режимом (1,2 °C) к среднесуточной норме и обилием осадков – 243,9 мм (+112,9 мм к среднесуточной). В марте выпало 83,2 мм осадков (46,2 мм к среднесуточной норме), а среднесуточная температура воздуха составила 2,3 °C. В апреле среднесуточная температура воздуха составила 10 °C, что на 0,7 °C ниже среднесуточных данных. Температурный режим в мае был повышенным – 18,1 °C (+1,6 °C к среднесуточному). За май выпало 65,0 мм осадков (+13,7 мм к среднесуточной). Июнь был дождливым – выпало 103,9 мм осадков (+32,6 мм к среднесуточной). Июль характеризовался повышенным температурным режимом – 26,7 °C (+3,6 °C к среднесуточной) и недобором осадков – 24,6 мм (при 57,7 мм при среднесуточных).

Условия осени 2021 г. можно отметить как достаточно неблагоприятные для посева, особенно по непаровым предшественникам. За сентябрь выпало только 29,0 мм осадков (68,6 % от среднесуточных). В связи с этим при наступлении оптимальных сроков посева запасы продуктивной влаги в почве были недостаточными. В дальнейшем в октябре и ноябре сумма осадков составила 4,0 и 42,0 мм соответственно (10,3 и 83,2 % к норме). Температурный режим в эти месяцы был пониженным. Вегетация озимого ячменя прекратилась 30 ноября. Зимой выпало 265,7 мм осадков (182,4 % к среднесуточному) в виде дождя и снега. Температурный режим был повышенный (+3,7 °C к среднесуточной температуре). Минимальная температура воздуха опускалась до -10,0 °C. Высота снежного покрова варьировала от 1 до 10 см, температура на глубине залегания узла кущения не опускалась ниже -1,5 °C, это способствовало благоприятной перезимовке растений озимого ячменя. Также зимой было отмечено 49 дней с оттепелью. В такие дни при повышенной среднесуточной температуре растения озимых культур возобновляли вегетацию. Весна 2022 г. характеризовалась температурным режимом в пределах среднесуточных значений и обилием осадков (125,5 % от нормы), особенно в марте, когда выпало 67,4 мм осадков (норма 37,0 мм). Среднесуточная температура воздуха в марте составила 1,5 °C. В апреле наблюдалось нарастание температуры воздуха. В этом месяце

среднесуточная температура воздуха составила 12,6 °C, что выше среднесуточных данных на 1,9 °C. В дальнейшем пониженный температурный режим и достаточное количество влаги в мае оказали благоприятное влияние на рост и развитие растений, что позволило сформировать достаточно высокую урожайность. Лето характеризовалось повышенным температурным режимом: июнь – 23,2 °C (+2,7 °C к норме), в июле – 24,1 °C (+1,0 °C к норме).

Условия осени 2022 г. можно отметить как достаточно благоприятные для посева, особенно по непаровым предшественникам. В сентябре выпало 36 мм осадков (практически на уровне среднесуточных данных). В дальнейшем, в октябре и ноябре, сумма осадков составила 35,0 мм и 24,0 мм соответственно (90,4 и 47,5 % к норме). Температурный режим в осенние и зимние месяцы был повышенным. Зимой выпало 125,0 мм осадков (85,8 % к среднесуточному) в виде дождя и снега. Весна 2023 г. характеризовалась повышенным температурным режимом в марте и апреле (+5,4 и +0,8 °C к среднесуточной соответственно). В мае температура была на уровне со среднесуточными значениями. Апрель и май характеризовались обилием осадков (+45,3 и +64,7 мм к среднесуточной соответственно), что привело к сильному полеганию посевов, распространению листовых болезней и, соответственно, получению более низкой урожайности по сравнению с предыдущим годом. В июле и августе температурный режим был на уровне среднесуточных данных.

Результаты и их обсуждение. По результатам выполненных в 2021–2023 гг. исследований были проанализированы 10 сортов и линий озимого ячменя селекции АНЦ «Донской» в соответствии с ранее разработанным методическим подходом (Khlistunov et al, 2023), учитывающим наиболее существенные признаки (идентификаторы) озимого ячменя (см. табл.).

При этом комплексный показатель балльной оценки сравниваемого сорта (линии) определяли по формуле

$$B_c = \sum_{i=1} B_{i3} \cdot \frac{B_{ic}}{B_{i3}},$$

где B_{i3} – оценки в баллах i -го признака у эталонного сорта озимого ячменя, балл; B_{ic} , B_{i3} – значение в абсолютном оцифрованном выражении соответственно i -го признака (идентификатора) и соответствующего эталонного сорта.

В таблице второй сомножитель из формулы обозначен как δ_i . В качестве эталонного принят сорт Тимофей селекции АНЦ «Донской».

Таблица. Результаты расчета исходных данных для определения комплексного показателя оценки результатов селекции озимого ячменя
Table. Results of calculation of initial data to determine a complex indicator of estimating the results of winter barley breeding

№ п/п	Наименование признаков	B _{ср} балл	Наименование сорта, линии				
			Оцифрованное значение B _с	Степ		Параллелум 2015	
				B _с	δ _с (5):(4)	B _с (3)*(6)	B _с (8):(4) B _с (3)*(9)
1	Урожай зерна (к контролю), %	9,74	100	107,70	1,08	10,52	118,46 1,18 11,49
2	Зимостойкость полевая, %	9,37	75	100,00	1,33	12,46	100,00 1,32 12,46
3	Устойчивость к полеганию, %	8,35	73	73,00	1,00	8,35	67,00 0,92 7,68
4	Морозоустойчивость (при -14 °С), %	8,03	63,5	70,70	1,11	8,91	86,90 1,37 11,00
5	Кустистость продуктивная (количество стеблей), шт.	7,07	1,9	2,10	1,11	7,85	2,10 1,11 7,85
6	Число колосьев на 1 м ² , шт.	6,85	439	491	1,12	7,67	484 1,10 7,54
7	Масса 1000 зерен, г	6,75	39	43,80	1,12	7,56	39,80 1,02 6,89
8	Продолжительность периода вегетации (интервал между расчетным и фактическим значениями), дн.	6,75	39	40	1,03	6,95	45 1,15 7,76
9	Устойчивость к карликовой ржавчине, %	6,58	99,6	99,60	1,00	6,58	100,00 1,00 6,58
10	Масса зерна с колоса, г	6,42	2,2	2,70	1,23	7,90	2,00 0,91 5,84
11	Устойчивость к сетчатому гельминтоспориозу, %	6,37	97,5	100,00	1,02	6,50	82,50 0,85 5,41
12	Масса зерна с растения (% к контролю), %	6,16	100	131,70	1,32	8,13	100,00 1,00 6,16
13	Содержание сырого белка (в зерне), %	6,05	11,5	11,90	1,03	6,23	12,20 1,06 6,41
14	Устойчивость к мучнистой росе, %	5,51	77,5	92,50	1,19	6,56	90,00 1,16 6,39
	Сумма баллов (комплексный показатель), B _с	100,00	—	—	—	112,17	— 109,46

Продолжение табл.

№ п/п	B _с ^а балл	Оцифрованное значение B _з	Наименование сорта, линии											
			Параллелум 2136				Алабай		Паллидум 2100				Паллидум 1899	
			B _с	δ _с (11):(4)	B _с (3)*(12)	B _с	δ _с (5):(4)	B _с (3)*(6)	B _с (8):(4)	δ _с	B _с (3)*(9)	B _с	δ _с (11):(4)	B _с (3)*(12)
1	9,74	100	116,92	1,17	11,40	116,92	1,17	11,40	115,38	1,15	11,20	113,85	1,14	11,10
2	9,37	75	100,00	1,33	12,46	100,00	1,33	12,46	100,00	1,33	12,46	100,00	1,33	12,46
3	8,35	73	67,00	0,92	7,68	73,00	1,00	8,35	67,00	0,92	7,68	50,00	0,68	5,68
4	8,03	63,5	29,20	0,46	3,70	78,80	1,24	9,96	58,10	0,91	7,31	47,40	0,75	6,02
5	7,07	1,9	2,20	1,16	8,20	2,00	1,05	7,42	1,90	1,00	7,07	1,80	0,95	1,02
6	6,85	439	510	1,16	7,95	463	1,05	7,19	452	1,03	7,06	434	0,99	6,78
7	6,75	39	42,70	1,09	7,36	44,20	1,13	7,63	44,80	1,15	7,76	46,60	1,19	8,03
8	6,75	39	47	1,21	8,17	42	1,08	7,29	48	1,23	8,30	41	1,05	7,09
9	6,58	99,6	99,70	1,00	6,58	99,70	1,00	6,58	98,30	0,99	6,51	99,70	1,00	6,58
10	6,42	2,2	2,30	1,05	6,74	2,30	1,05	6,74	2,50	1,14	7,32	2,50	1,14	7,32
11	6,37	97,5	100,00	1,02	6,50	82,50	0,85	5,41	87,50	0,90	5,73	92,50	0,95	6,05
12	6,16	100	114,63	1,15	7,08	107,32	1,07	6,59	112,20	1,12	6,90	109,76	1,10	6,78
13	6,05	11,5	12,30	1,07	6,47	11,00	0,96	5,81	11,60	1,01	6,11	11,60	1,01	6,11
14	5,51	77,5	100,00	1,29	7,11	92,50	1,19	6,56	90,00	1,16	6,39	80,00	1,03	5,68
100,00		—	—	—	107,40	—	—	109,39	—	—	107,80	—	—	96,7

Продолжение табл.

№ п/п	B _э , балл	Оцифрованное значение B _э	Наименование сорта, линии															
			Параллелум 2084				Параллелум 2110				Параллелум 2120				Безостый 2074			
			B _{ic}	δ _i (5):(4)	B _{ic} (3)*(6)	B _{ic}	δ _i (8):(4)	B _{ic} (3)*(9)	B _{ic}	δ _i (11):(4)	B _{ic} (3)*(12)	B _{ic}	δ _i (5):(4)	B _{ic} (3)*(6)				
1	9,74	100	115,38	1,15	11,20	116,92	1,17	11,40	112,31	1,12	10,91	110,77	1,11	10,81				
2	9,37	75	100,00	1,33	12,46	100,00	1,33	12,46	100,00	1,33	12,46	100,00	1,33	12,46				
3	8,35	73	67,00	0,92	7,68	73,00	1,00	8,35	60,00	0,82	6,85	83,00	1,14	9,52				
4	8,03	63,5	32,40	0,51	4,10	49,90	0,79	6,34	44,70	0,70	5,62	80,00	1,26	10,12				
5	7,07	1,9	2,00	1,05	7,42	2,00	1,05	7,42	1,80	0,95	6,72	2,00	1,05	7,42				
6	6,85	439	458	1,04	7,12	46,0	1,05	7,19	426	0,93	6,37	474	1,08	7,40				
7	6,75	39	38,7	1,00	6,75	42,50	1,09	7,36	44,80	1,15	7,76	36,90	0,95	6,41				
8	6,75	39	45	1,15	7,76	46	1,18	7,97	40	1,03	6,95	44	1,13	7,63				
9	6,58	99,6	99,70	1,00	6,58	100,00	1,00	6,58	99,50	1,00	6,58	99,70	1,00	6,58				
10	6,42	2,2	2,10	0,95	6,10	2,30	1,05	6,69	2,60	1,18	7,58	1,90	0,86	5,52				
11	6,37	97,5	97,50	1,00	6,37	92,50	0,95	6,05	97,50	1,00	6,37	90,00	0,92	5,86				
12	6,16	100	100,00	1,00	6,16	107,32	1,07	6,59	112,20	1,12	6,90	92,68	0,93	5,73				
13	6,05	11,5	11,90	1,03	6,23	11,30	0,95	5,75	11,30	0,98	5,93	11,70	1,02	6,17				
14	5,51	77,5	92,5	1,19	6,56	77,5	1,00	5,51	100	1,29	7,11	77,50	1,00	5,51				
	100,00	—	—	—	102,49	—	—	105,66	—	—	104,11	—	—	107,14				

По данным таблицы, используя программное обеспечение (Свид. 202369614 / Димитров и др., 2023), построили диаграмму балльной

оценки оцениваемых сортов и линий озимого ячменя (рис. 1).

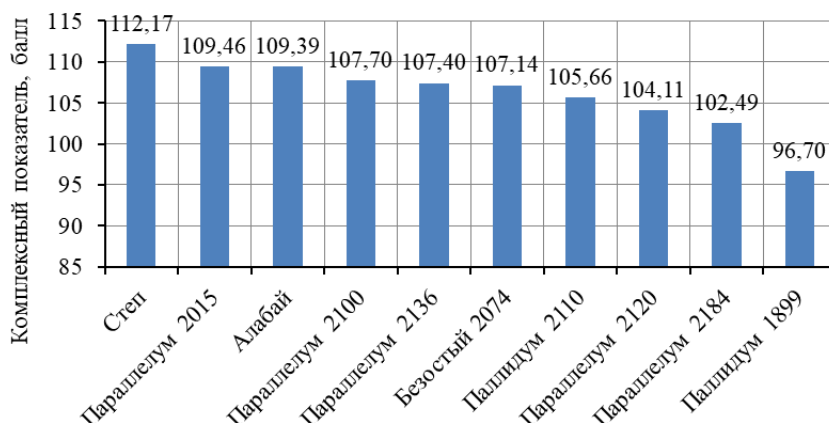


Рис. 1. Диаграмма ранговой оценки селекционных линий озимого ячменя селекции АНЦ «Донской»
Fig. 1. Diagram of ranking estimation of winter barley lines developed by the "ARC "Donskoy"

Для того чтобы определить, какие из полученных сортов и линий можно считать перспективными, мы рассмотрели их в совокупности как многомерную переменную величину, получив интегральную эмпирическую функцию распределения накопленных частот доли значения комплексной оценки каждого сорта

в общей их совокупности, характеризующей рост вероятности рассмотрения сортов с увеличением их количества. Используя специально разработанную программу для ЭВМ (Свид. 2023667053 / Хлыстунов и др., 2023), структурировали эту функцию на три характерные зоны (рис. 2).



Рис. 2. Диаграмма интегральной функции накопленных частот доли каждой селекционной линии озимого ячменя
Fig. 2. Diagram of the integral function of the accumulated frequencies of the share of each breeding line of winter barley

Первая группа представлена шестью сортами (Степ, Параллелум 2015, Алабай, Паллидум 2100, Параллелум 2136, Безостый 2074). Данные сорта и линии (см. табл.) характеризуются высокими показателями комплекса основных хозяйственно ценных признаков и свойств.

Следующую группу из трех сортов озимого ячменя (Паллидум 2110, Паллидум 2120, Параллелум 2184) определили как малоперспективную. Относительно признаков и свойств

эталонного сорта они или находятся на уровне, или уступают по некоторым из них.

Линия Паллидум 1899 была отнесена к группе неперспективных образцов.

Сорт озимого ячменя Степ был передан на Государственное сортоиспытание в 2022 г., сорт озимого ячменя Алабай – в 2023 г. по 2, 5, 6 и 8 регионам РФ. На перспективу в план передачи на изучение в Госкомиссии РФ включены линии Параллелум 2015, 2100, 2136 и Безостый 2074 как наиболее ценные, соче-

тающие в себе наибольшее количество признаков и свойств, значения которых достоверно превосходят стандартный (эталонный) сорт Тимофей.

Выводы. Используя методику сравнительной оценки 10 сортов озимого ячменя селекции АНЦ «Донской», определили величину показателя их комплексной оценки по существенным признакам из Международного классификатора СЭВ рода *Hordeum* L. (1983).

В результате ранжирования этих показателей и структуризации статистического массива из них установили перспективные к дальнейшему использованию сорта в количестве шести, составляющие по количеству 60 %, а по весомости – 61,5 %. Малоперспективные составили 30 % по количеству, а по весомости – 29,4 %. Это позволяет значительно снизить затраты (трудовые, временные, финансовые) на проведение дальнейших исследований по сортоиспытанию на заключительных этапах селекции.

Библиографические ссылки

1. Николаев П.Н., Юсова О.А., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Адаптивность нового сорта ярового ячменя Омский 102 в условиях Западной Сибири // Таврический вестник аграрной науки. 2022. Т. 1(29). С. 103–111.
2. Николаев П.Н., Юсова О.А., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Реализация биологической урожайности ячменя ярового в условиях южной лесостепи Омской области // Аграрный вестник Урала. 2020. № 12(203). С. 22–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34
3. Подиновская О.В., Подиновский В.В. Анализ иерархических многокритериальных задач принятия решений методами теории важности критериев // Проблемы управления. 2014. № 6. С. 2–8.
4. Прядун Ю.П., Шаталина Л.П. Результаты экологического испытания сортов ярового ячменя в южной лесостепи Южного Урала // Аграрный вестник Урала. 2022. № 5(220). С. 12–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-12-20
5. Свид. 202369614. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа определения весомости признаков при анализе различных предметных областей / Димитров В.П., Хлыстунов В.Ф., Борисова Л.В., Черняев А.Т.; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет (ДГТУ)» (RU). № 202369614; заявл. 29.08.2023; опубл. 18.09.2023. Бюл. № 9. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
6. Свид. 2023667053. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программа для структурирования статистического массива величин идентификатора / Хлыстунов В.Ф., Коптева Н.А., Димитров В.П. и др.; заявитель и правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Аграрный научный центр «Донской» (RU). № 2023667053; заявл. 06.06.2023; опубл. 09.08.2023. Бюл. № 8. Реестр программ для ЭВМ. 1 с.
7. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Дорошенко Э.С., Брагин Р.Н., Засыпкина И.М. Сорт ярового ячменя Азимут // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 5. С. 91–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97
8. Khlistunov V., Kopteva N., Filippov Y., Udintsova N. Results of the development of the integrated evaluation of the winter barley breeding identifiers // In E3S Web of Conferences (Vol. 431. P. 01050). 2023. Vol. 1–12. DOI: 10.1051/e3conf/202343101050
9. Macholdt J., Honermeier B. Impact of climate change on cultivar choice: adaptation strategies of farmers and advisors in German cereal production. Agronomy. 2016. Vol. 6(40). DOI: 10.3390/agronomy 6030040

References

1. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Adaptivnost' novogo sorta yarovogo yachmenya Omskii 102 v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Adaptability of the new spring barley variety 'Omsky 102' in Western Siberia] // Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki. 2022. T. 1(29). S. 103–111.
2. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Safonova I.V., Anis'kov N.I. Realizatsiya biologicheskoi urozhainosti yachmenya yarovogo v usloviyakh yuzhnoi lesostepi Omskoi oblasti [Realization of the biological spring barley productivity in the southern forest-steppe of the Omsk region] // Agrarnyi vestnik Urala. 2020. № 12 (203). S. 22–34. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-22-34
3. Podinovskaya O.V., Podinovskii V.V. Analiz ierarkhicheskikh mnogokriterial'nykh zadach prinyatiya reshenii metodami teorii vazhnosti kriteriev [Analysis of hierarchical multi-criteria decision-making problems using the methods of the criteria importance theory] // Problemy upravleniya. 2014. № 6. S. 2–8.
4. Pryadun Yu. P., Shatalina L. P. Rezul'taty ekologicheskogo ispytaniya sortov yarovogo yachmenya v yuzhnoi lesostepi Yuzhnogo Urala [Results of environmental testing of spring barley varieties in the southern forest-steppe of the Southern Urals] // Agrarnyi vestnik Urala. 2022. № 5(220). S. 12–20. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-220-05-12-20
5. Свид. 202369614. Rossiiskaya Federatsiya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM. Programma opredeleniya vesomosti priznakov pri analize razlichnykh predmetnykh oblastei [Certif. 202369614. Russian Federation. Certificate of official registration of a computer program. The program for determining the value of features in the analysis of various subject areas] / Dimitrov V.P., Khlystunov V.F., Borisova L.V., Chernyaev A. T.; zayavitel' i pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Donskoi gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet (DGTU)» (RU). № 202369614; zayavl. 29.08.2023; opubl. 18.09.2023. Byul. № 9. Reestr programm dlya EVM. 1 s.

6. Svid. 2023667053. Rossiiskaya Federatsiya. Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programmy dlya EVM. Programma dlya strukturirovaniya statisticheskogo massiva velichin identifikatora [Certif. 2023667053. Russian Federation. Certificate of official registration of a computer program. The program for structuring a statistical array of identifier values] / Khlystunov V.F., Kopteva N.A., Dimitrov V.P. i dr.; zayavitel' i pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie «Agrarnyi nauchnyi tsentr «Donskoi» (RU). № 2023667053; zayavl. 06.06.2023; opubl. 09.08.2023. Byul. № 8. Reestr programm dlya EVM. 1 s.

7. Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Doroshenko E.S., Bragin R.N., Zasykina I.M. Sort yarovogo yachmenya Azimut [The spring barley variety 'Azimut'] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 5. С. 91–97. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-5-91-97

8. Khlistunov V., Kopteva N., Filippov Y., Udintsova N. Resultes of the development of the integrated evaluation of the winter barley breeding identifiers // In E3S Web of Conferences (Vol. 431, P. 01050). 2023. Vol. 1–12. DOI: 10.1051/e3conf/202343101050

9. Macholdt J., Honermeier B. Impact of climate change on cultivar choice: adaptation strategies of farmers and advisors in German cereal production. Agronomy. 2016. Vol. 6(40). DOI: 10.3390/agronomy 6030040

Поступила: 17.04.24; доработана после рецензирования: 29.05.24; принята к публикации: 29.05.24.

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. Хлыстунов В.Ф. – концептуализация и проектирование исследования, сбор данных, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Донцова А.А. – концептуализация и проектирование исследования, сбор данных, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Донцов Д.П. – сбор данных, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НАСЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЛИПИДОВ В ЗЕРНЕ РИСА (ОБЗОР)

П. И. Костылев¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

Е. В. Краснова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства риса, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774;

Е. В. Дубина², доктор биологических наук, заведующая лабораторией информационных, цифровых и биотехнологий, ORCID ID: 0000-0002-8010-0137

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

²ФГБНУ «Федеральный научный центр риса», 350921, Краснодарский край, Краснодар, п. Белозерный, д. 3; e-mail: arrri_kub@mail.ru

Рис – это важный продукт питания людей. На пищевые цели в основном используют шлифованный белый рис, но используется также нешлифованный. В клетках алейронового слоя и зародыша зерна риса содержатся липиды, присутствие которых в продуктах укрепляет иммунитет и защищает от болезней сердца и рака, что повысило интерес к ним. В статье представлен обзор литературных источников по исследованию локусов количественных признаков, связанных с содержанием липидов в зерне риса. Исследования проводили в Китае, Корее и Японии в 1983–2021 гг. с использованием дигаплоидных линий из гибридов между контрастно различающимися по содержанию липидов сортами риса. С помощью карты микросателлитных маркеров были установлены связи с QTL на 12 хромосомах риса. В исследованиях Hu и др. (2004) найдено три QTL содержания жира, располагавшиеся на хромосомах 1, 2 и 5. Yu и др. (2009) обнаружили четыре QTL на хромосомах 3, 5, 6 и 8. Qin и др. (2010) нанесли на карту хромосом 1, 2, 3, 5, 6, 7 и 9 восемь QTL. Kim и др. (2013) обнаружили значительный QTL, qRLC5, на хромосоме 5. Yun и др. (2014) установили, что высокое содержание липидов определяют три QTL на хромосомах 2, 3 и 6. Ying и др. (2012) на 10 хромосомах идентифицировали 29 QTL, по несколько для семи жирных кислот. Zhou с коллегами (2021) провели геномное исследование состава и концентрации масла в различных группах из 533 культивируемых сортов риса и выявили 99 QTL, из которых 94 были связаны с составом масла, а пять – с его концентрацией. Эти QTL позволяют создать пирамиды благоприятных аллелей для улучшения качества риса с помощью маркерной селекции.

Ключевые слова: рис, сорт, гибрид, зерновка, липиды, наследование, ген, QTL, маркер.

Для цитирования: Костылев П. И., Краснова Е. В., Дубина Е. В. Наследование содержания липидов в зерне риса (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 68–77. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-68-77.



INHERITANCE OF LIPID CONTENT IN RICE GRAIN (REVIEW)

P. I. Kostylev¹, Doctor of Agricultural Sciences, professor, main researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, p-kostylev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4371-6848;

E. V. Krasnova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for rice breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3392-4774;

E. V. Dubina², Doctor of Biological Sciences, head of the department for informational, digital and biological technologies, ORCID ID: 0000-0002-8010-0137

¹FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”, 347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru

²FSBSI “Federal Research Center of Rice”, 350921, Krasnodar region, Krasnodar, v. of Belozerny, 3; e-mail: arrri_kub@mail.ru

Rice is an important food product for people. Milled white rice is mainly used for food purposes, but unpolished rice is also used. The cells of the aleurone layer and the embryo of the rice grain contain lipids, the presence of which strengthens the immune system and protects against heart disease and cancer, which has increased interest in them. The current paper has provided a review of the information on the study of quantitative trait loci connected with lipid content in rice grain. The study was conducted in China, Korea, and Japan from 1983 to 2021 using dihaploid lines from hybrids among rice varieties with contrasting lipid content. There was identified a correlation with QTL on 12 rice chromosomes with the help of a microsatellite marker map. Hu et al. (2004) found three QTLs for oil content located on chromosomes 1, 2, and 5. Yu et al. (2009) found four QTLs on chromosomes 3, 5, 6, and 8. Qin et al. (2010) mapped eight QTLs to chromosomes 1, 2, 3, 5, 6, 7 and 9. Kim et al. (2013) found a significant QTL, qRLC5, on chromosome 5. Yun et al. (2014) found that high lipid content was determined by three QTL on chromosomes 2, 3 and 6. Ying et al. (2012) identified 29 QTL on 10 chromosomes, several for seven fatty acids. Zhou and his colleagues (2021) conducted a genomic study of oil composition and concentration in different groups of 533 cultivated rice varieties and identified 99 QTL, 94 of which were associated with oil composition and five of them with oil concentration. These QTLs will allow developing pyramids of favorable alleles to improve rice quality using marker-assisted breeding.

Keywords: rice, variety, hybrid, grain, lipids, inheritance, gene, QTL, marker.

Введение. Рис (*Oryza sativa* L.) является основным продуктом питания более чем половины населения мира. В большинстве стран-по-

ребителей риса он является основным источником не только ежедневной энергии, но и пищевых питательных веществ. Улучшение

питательных качеств рисового зерна поможет смягчить проблему недоедания, с которой сталкиваются в этих странах (Juliano, 1993).

Белок и жир являются двумя основными питательными компонентами зерновых культур, из которых содержание жира гораздо меньше, но он содержит примерно в два раза больше калорий, чем в равной сухой массе белка или углеводов. Содержание липидов в рисе низкое, а большая его часть состоит из ненасыщенных жирных кислот. Липиды в основном содержатся в зародыше, отрубях (мучке) и алейроновом слое риса и богаты олеиновой и линолевой кислотой, являясь важными ингредиентами пищевых продуктов. Липиды в рисе, хотя и не в таком большом количестве, как углеводные и белковые компоненты, важны, поскольку они вносят вклад в питательные и функциональные качества и полезны для здоровья. Присутствие липидов в рисовых продуктах укрепляет иммунную систему человека и повышает уровень липопротеинов высокой плотности. Недавние доказательства вклада липидных компонентов риса в защиту от хронических заболеваний, таких как болезни сердца и рак, повысили интерес к ним с точки зрения питания (Godber, Juliano, 2004). Цель работы – обобщить информацию из литературных источников по исследованию локусов количественных признаков, связанных с содержанием липидов в зерне риса. Поскольку пищевая ценность определяется содержанием питательных веществ в зерне риса, знание об их наследовании облегчит выведение сортов риса с улучшенными показателями питательности.

Основная часть. Липиды риса локализованы в клетках алейронового слоя и зародыша. В процессе шлифования зерна алейроновый слой и зародыши переходят в мучку, которая является сырьем для получения рисового масла (Omura, Satoh, 1984).

В исследованиях Goffman et al., (2003) коллекция из 204 генетически разнообразных образцов риса была оценена по общему содержанию масла и составу жирных кислот (ЖК). Содержание масла в рисовых отрубях варьировало от 17,3 до 27,4 % (по массе). Основными ЖК в масле из отрубей были пальмитиновая, олеиновая и линолевая кислоты, которые находились в диапазоне 13,9–22,1, 35,9–49,2 и 27,3–41,0 % соответственно. Соотношение насыщенных и ненасыщенных ЖК было тесно связано с содержанием пальмитиновой кислоты ($r^2 = 0,97$). Линии подвида *japonica* характеризовались низким содержанием пальмитиновой кислоты, а *indica* – высоким.

Повышение содержания липидов в рисе как одним из важных ингредиентов функциональных пищевых и промышленных продуктов стало совершенно новой целью в программах селекции риса по всему миру. В целях увеличения выхода масла ведется селекция на увеличение размеров зародыша и толщины алейронового слоя. В настоящее время был идентифицирован только один ген, отвечаю-

щий за морфологию зародыша. Единственный характерный, связанный с зародышем ген – *ge* (*giant embryo* – гигантский зародыш). Этот признак контролируется рецессивным геном *ge*, локализованным в хромосоме 10 (Yano et al., 1980). Этот ген определяет развитие гигантского зародыша, который в два-три раза крупнее, чем у исходного типа. Содержание липидов у таких мутантов увеличено с 2,5 до 4 % (Matsuo et al., 1987).

Содержание липидов является количественным признаком, контролируемым полигенами, как сообщали Kang et al. (1998), Chen et al. (1998) и Hu et al. (2004). При этом Qi et al. (1983) сообщили, что наследуемость в широком смысле составила 60,9–68,3 %.

Подобно урожайности, такие показатели качества, как содержание белка и жира в зерне риса, наследуются количественно. Chen et al. (1998) провели генетический анализ содержания жира в семенах гибрида риса между подвидами *indica* и *japonica* с использованием генетических моделей, учитывающих взаимодействие генотипа и окружающей среды. Результаты показали, что содержание жира в рисе контролируется в основном за счет прямых и материнских аддитивных эффектов.

В исследованиях Hu et al. (2004) был проведен анализ содержания жира в рисе, который является важным компонентом питательных качеств риса. Фенотипический анализ признаков показал, что разница между родительскими формами Gui 630 и 02428 была незначительной: 2,8 и 3,4 % соответственно. Среди дигаплоидных линий содержание жира варьировало в пределах 1,88–3,92 % при среднем значении 2,91 %. Этот признак непрерывно варьировал и приблизительно соответствовал нормальному распределению с абсолютными значениями асимметрии и эксцесса менее 1,0, указывая на то, что он подходит для картирования QTL. По этому признаку наблюдалась значительная трансгрессивная сегрегация (рис. 1).

Наследуемость содержания жира была оценена в 82 %. Для изучения генетической основы этого признака и поиска QTL использовали дигаплоидную популяцию и карту связей anRFLP, состоящую из 232 маркеров. Всего было найдено три QTL для содержания жира, которые располагались на хромосомах 1, 2 и 5: qRFC-1 (RG541-RG197), qRFC-2 (RG241b-RG324), qRFC-5 (RG470-RG474) (рис. 2). Они в совокупности объясняли 44 % фенотипической вариации. Среди этих локусов qRFC-2 и qRFC-5 с более выраженными эффектами по отдельности составляли 24 и 26 % фенотипических различий соответственно. Положительный аллель QTL qRFC-2 произошел от родительского сорта Gui 630, в то время как qRFC-5 – от образца 02428. Тот факт, что обе родительских формы обладают положительными аллелями QTL для этого признака, дает подходящее объяснение большой трансгрессивной сегрегации, наблюдаемой среди дигаплоидных линий.

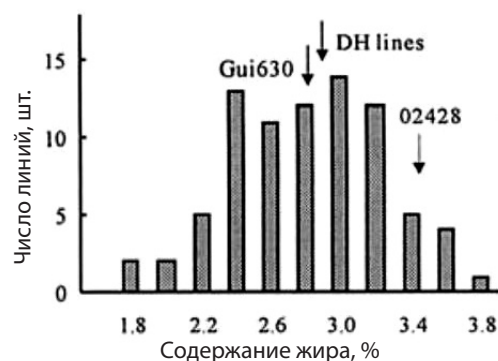


Рис. 1. Распределение частот величин содержания жира в популяции дигаплоидов риса. Средние значения признака для линий и обеих родительских форм указаны стрелками (Hu et al., 2004)

Fig. 1. Frequency distribution of oil content values in a population of rice dihaploids. Mean trait values for lines and both parental forms are shown by arrows (Hu et al., 2004)

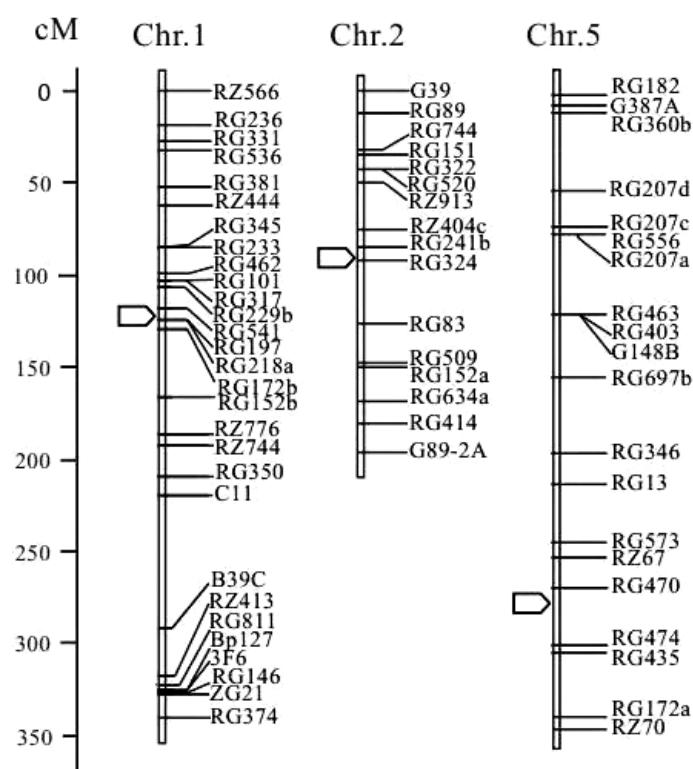


Рис. 2. Хромосомное расположение QTL, определяющих содержание липидов в зерне риса (Hu et al., 2004)

Fig. 2. Chromosomal location of QTL that determine lipid content in rice grain (Hu et al., 2004)

Кроме того, для признака содержания жира было выявлено семь пар эпистатических локусов. Суммарный абсолютный эффект этих взаимодействий составил 0,97 %, что намного больше, чем у QTL с тремя основными эффектами для признака (0,42 %). Информация, представленная авторами, может быть полезна для улучшения качества питательных веществ в зерне риса посредством отбора с помощью маркеров (Hu et al., 2004).

Китайскими учеными Yu et al. (2009) на основе одного растения гибрида F_1 риса Xieqingzao B x Milyang 46 была создана популяция из 209 рекомбинантных инбредных линий F_9 . Анализ локусов количественных признаков позволил обнаружить четыре QTL, контролирующих содержание жира, на хромосомах 3, 5, 6 и 8: qFC-3 (RZ519–RZ328),

qFC-5 (RG480–RM274), qFC-6 (RM190–RZ516), qFC-8 (R1394–RZ66) соответственно (рис. 3).

Среди этих локусов qFC-5 на хромосоме имел наибольший эффект, объясняя 12,9 % фенотипической дисперсии и демонстрируя аддитивный эффект 0,091 %. Остальные три QTL объясняли 5,5–8,7 % фенотипической дисперсии и имели аддитивный эффект 0,059–0,073 %. Усиливающий содержание жира аллель qFC-5 был передан линиям от сорта Xieqingzao B, тогда как остальные три локуса – от Milyang 46 (Yu et al., 2009). Авторы полагают, что лучшее понимание генетической взаимосвязи между признаками урожайности, питательными свойствами и другими качественными показателями имеет решающее значение для разработки стратегии селекции для улучшения питательных свойств риса.

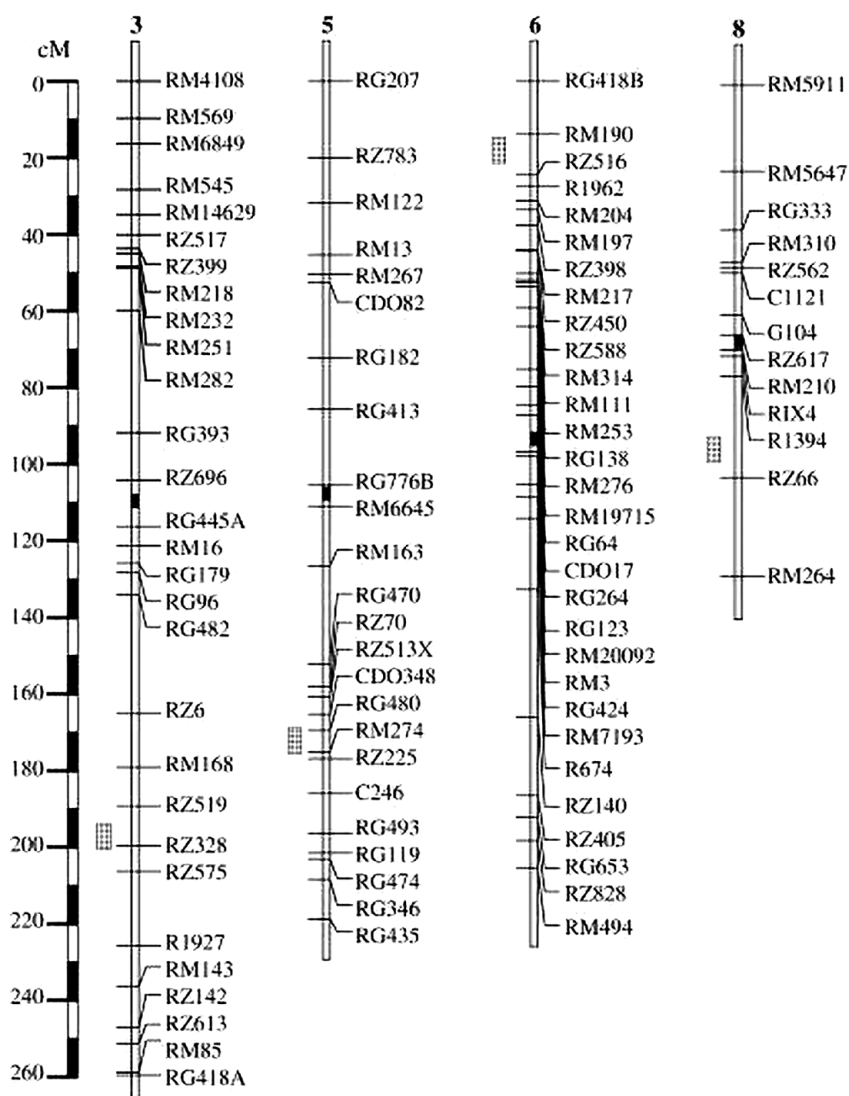


Рис. 3. Хромосомное расположение QTL, определяющих содержание липидов в зерне риса (Yu et al., 2009)
Fig. 3. Chromosomal location of QTL that determine lipid content in rice grain (Yu et al., 2009)

В исследованиях корейских ученых Qin и др. (2010) с использованием 172 ДНК-маркеров была создана генетическая карта, охватывающая 12 хромосом риса со средним интервалом 10,51 см между маркерами, предназначенных для выяснения генетической основы содержания липидов в нешлифованном рисе. Восемь QTL, связанных с содержанием липидов, были нанесены на карту хромосом 1, 2, 3, 5, 6, 7 и 9 с использованием дигиплоидной популяции, полученной от скрещивания сортов Samgang и Nagdong. Пять из восьми QTL имеют тенденцию к увеличению содержания липидов в генах Samgang. Эпистатические эффекты и влияние окружающей среды сыграли важную роль и объяснили 42,20 % вариаций фенотипа. Три QTL из qLC6.1, qLC7.1 и qLC9.1 в совокупности объясняют более 27 % вариаций фенотипа и увеличили содержание липидов на 0,25 %, демонстрируя эффективность селекции на высокое содержание липидов. Таким образом, это обеспечивает достаточную возможность для реализации пирамидирования QTL и улучшения процесса селекции риса.

В дальнейшем корейские ученые Kim et al. (2013) провели исследование физико-химических характеристик и выполнили картирование QTL генетических факторов, связанных с содержанием липидов в рисе. Образец риса с высоким содержанием липидов, мутант P31-2-2-2-B-B, был получен из сорта Dongjin путем вставки Т-ДНК. Содержание липидов в нешлифованном зерне P31-2-2-2-B-B составляло 4,42 %, тогда как у обычного сорта-донора Dongjin – 2,56 %. Общее содержание жирных кислот в нешлифованном рисе с высоким содержанием липидов составило 7,82 %, а у Dongjin – 3,43 %. Состав ненасыщенных жирных кислот мутанта составлял 2,73 % олеиновой кислоты, 2,74 % линолевой кислоты и 0,34 % линоленовой кислоты. Напротив, состав жирных кислот сорта-донора Dongjin составлял 1,30 % олеиновой кислоты и 0,99 % линолевой кислоты. Процентное соотношение ненасыщенных жирных кислот к общему количеству жирных кислот у мутанта с высоким содержанием липидов было выше (74,3 %), чем у сорта Dongjin (66,8 %).

Непрерывное распределение частот и трансгрессивное расщепление содержания липидов наблюдалось в семенах потомства F_2 ,

полученных от скрещивания мутанта с высоким содержанием липидов P31-2-2-B-B и обычного сорта Samgang (рис. 4).

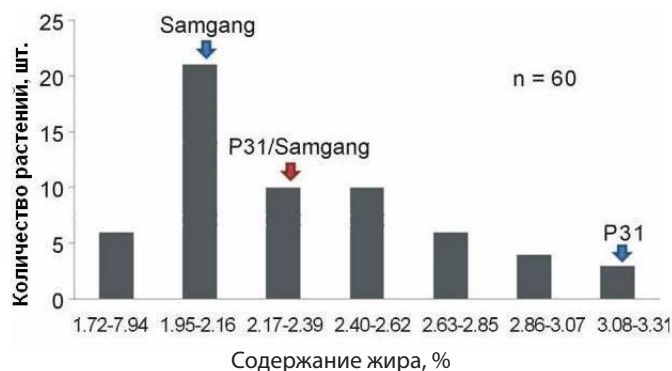


Рис. 4. Распределение частот содержания липидов в семенах F_2 у риса от скрещивания между высокомасличным мутантом P31-2-2-B-B и сортом Samgang (Kim et al., 2013)

Fig. 4. Frequency distribution of lipid content in F_2 rice seeds hybridized between the high-oil mutant P31-2-2-B-B and the variety 'Samgang' (Kim et al., 2013)

Значение содержания липидов варьировало от 1,72 до 3,31 %. Наблюдалось распределение, указывающее на дигенное наследование содержания липидов с расщеплением 9:6:1 и доминирование меньших значений признака.

Этот результат показал, что содержание липидов было количественным признаком,

контролируемым полигенами. Кроме того, наследуемость содержания липидов в широком смысле была оценена в 89,6 % на основе анализа семян F_2 . Значительный QTL, qRLC5, был идентифицирован на хромосоме 5 с показателем LOD 2,37 между маркерами 5007 и 5014 (рис. 5).

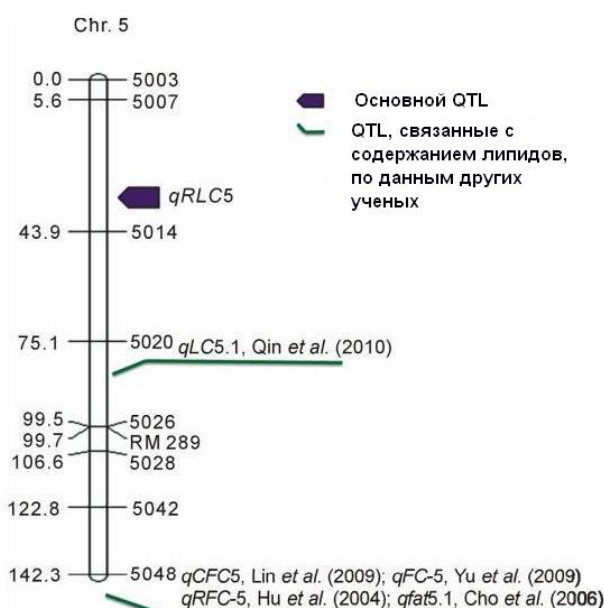


Рис. 5. Хромосомная локализация QTL, связанного с содержанием липидов у риса (Kim et al., 2013)

Fig. 5. Chromosomal location of QTL connected with lipid content in rice grain (Kim et al., 2013)

Интервал qRLC5 между ними был относительно широким (38,3 cM), что связано с небольшим количеством маркеров. Если бы авторы выполнили этот анализ с использованием большего количества полиморфных маркеров, расстояние между маркерами qRLC5 было бы меньшим. Как показано на рисунке 2, qRLC5 был обнаружен в месте, отличающемся от того, о котором сообщили Qin et al. (2010), то есть после маркера 5020. Кроме того, в предыду-

щих исследованиях QTL содержания липидов был определен после маркера 5048 (Liu et al., 2009; Hu et al., 2004; Cho et al., 1998; Yu et al., 2009). Следовательно, точное картирование хромосомы 5 могло бы позволить идентифицировать QTL с высокими показателями LOD, которые влияют на содержание липидов. Этот результат можно использовать в качестве основы для дальнейшего создания сортов риса с высоким содержанием липидов и улучшения пита-

тельных качеств риса с помощью маркерной селекции (Kim et al., 2013).

Корейские ученые (Yun et al., 2014) в своих исследованиях использовали популяцию дигаплоидных линий, полученных из гибрида между сортами Cheongcheong и Nagdong. Содержание липидов у них составило 3,1

и 3,4 % соответственно, в то время как у ДН-линий в среднем – 3,1%. Содержание липидов варьировало в широких пределах (рис. 6), а результаты показали, что признаки, связанные с качеством риса, являются количественными характеристиками, определяемыми множеством генов.

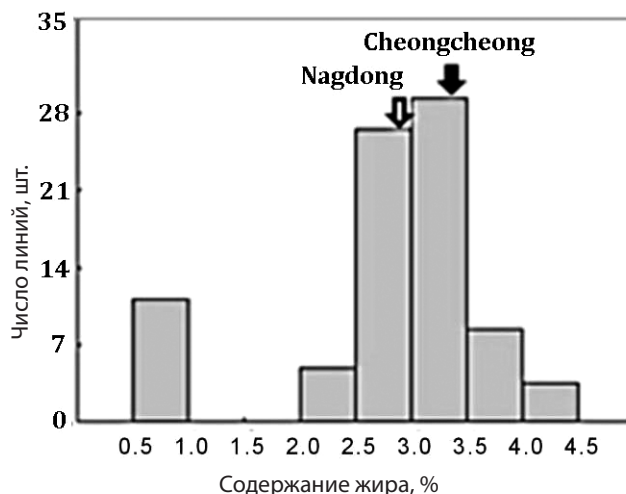


Рис. 6. Распределение частот величин содержания жира в популяции дигаплоидов риса.

Средние значения признака родительских форм указаны стрелками, слева – Nagdong, справа – Cheongcheong (Yun et al., 2014)

Fig. 6. Frequency distribution of oil content values in a population of rice dihaploids.

Mean trait values for parental forms are shown by arrows, Nagdong on the left, Cheongcheong on the right (Yun et al., 2014)

С помощью анализа 222 микросателлитных маркеров, распределенных по 12 хромосомам, было установлено, что высокое содержание

липидов определяли три QTL на хромосомах 2, 3 и 6 (рис. 7).

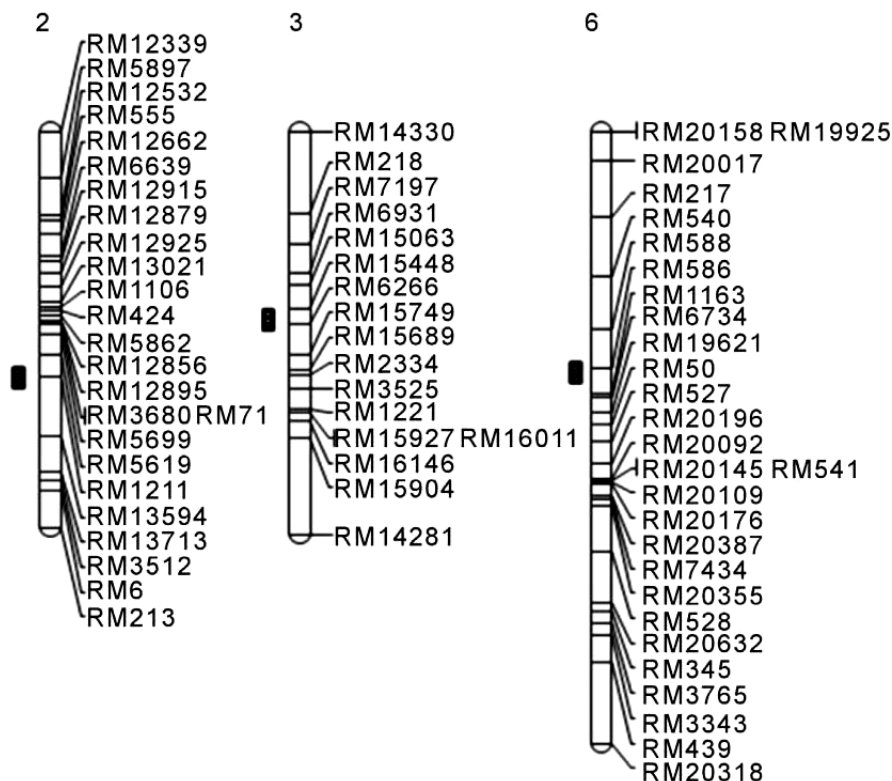


Рис. 7. Хромосомное расположение QTL, определяющих содержание липидов в зерне риса (Yun et al., 2014)

Fig. 7. Chromosomal location of QTL that determine lipid content in rice grain (Yun et al., 2014)

Эти маркеры QTL – qLip-2 (RM5619-RM1211), qLip-3 (RM15448-RM6266), qLip-6 (RM586-RM1163) показали совпадение с высоким содержанием липидов в зерне на 70–80 %.

Признаки масличности определяются локусами количественных признаков (QTL), но для риса не были известны значения QTL для определения состава жирных кислот. В исследованиях китайских ученых Ying и др. (2012) был проведен анализ QTL в потомстве F_2 и F_3 от скрещивания сортов подвидов *indica* (FAZ1) и *japonica* (JZ1560). В геноме риса, за исключением хромосом 9 и 10, были идентифицированы 29 ассоциированных QTL. Пять локусов плейотропно контролировали различные признаки, способствуя сложному взаимодействию масла с жирными кислотами и между жирными кислотами. Картировано 11 QTL, кодирующих ключевые ферменты липидного обмена. Авторы эффективно выявили гены-кандидаты для картирования QTL, которые контролируют состав жирных кислот и концентрацию масла, предоставляя информацию для улучшения качества рисового зерна с помощью селекции с использованием маркеров.

Были идентифицированы семь жирных кислот (миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, линолевая, линоленовая, арахиновая), а их сумма была рассчитана как общая концентрация масла. По сравнению с родительскими сортами, популяции F_2 и F_3 имели промежуточные уровни содержания всех жирных кислот и показали непрерывную сегрегацию с отсутствием существенной трансгрессии и полигенным контролем признаков. Авторами было проведено картирование QTL.

Миристиновая кислота составляла от 0,92 до 2,46 % от общего количества масла. Ее содержание контролируют пять QTL на хромосомах 2, 6, 11 и 12. Их эффекты объясняли 44,61 и 43,83 % фенотипической изменчивости в популяциях F_2 и F_3 соответственно.

Пальмитиновая кислота является насыщенной жирной кислотой с большим содержанием в семенах риса – от 27,83 до 32,53 %. Пять QTL были картированы на хромосомах 1, 3, 4 и 6, составляя в совокупности 45,86 и 39,95 % от общей дисперсии в популяциях. Основной QTL, *pal6*, с наибольшим генетическим эффектом был идентифицирован в верхней части хромосомы 6.

Стеариновая кислота, типичная насыщенная жирная кислота, составляет 2,31–3,17 % от общего содержания жирных кислот в нешлифованном рисе. Четыре QTL были обнаружены на хромосомах 1, 4 и 8. Самый большой QTL, *ste4*, объясняет 14,67 % фенотипической дисперсии в популяциях F_2 .

Олеиновая кислота является преобладающей мононенасыщенной жирной кислотой в масле семян риса: от 29,49 до 33,73 %. Три QTL, влияющие на концентрацию 18:1, были картированы на хромосомах 1, 6 и 8. Все значения QTL в совокупности объясняют 46,07 и 42,01 %

общей фенотипической дисперсии в популяциях F_2 и F_3 соответственно.

Линолевая кислота составляет 27,95–34,84 % от общего содержания масла. Были обнаружены два QTL с положительными эффектами на различных маркерных интервалах хромосомы 6. Процент фенотипических различий, объясняемых этими QTL, составил 39,65 и 43,47 % в популяциях F_2 и F_3 соответственно.

Линоленовая кислота – это полиненасыщенная жирная кислота, концентрация которой составляет 0,96–1,13 % от общего содержания жирных кислот риса. Были идентифицированы два QTL, которые расположены на хромосомах 2 и 4. Эти QTL (*linn2* и *linn4*) составили 15,53 и 11,83 % от дисперсии соответственно.

Арахиновая кислота – это насыщенная жирная кислота с очень длинной цепью, содержащаяся в рисе в небольшом количестве: 0,45–0,54 %. Три QTL, контролирующие содержание 20:0, были обнаружены на хромосомах 5 и 8 в популяции F_2 , что в совокупности объясняет 33,87 % общей фенотипической изменчивости.

Масло содержалось в нешлифованном зерне риса в концентрации 3,25–3,76 %. Пять QTL, отвечающих за концентрацию масла, были сопоставлены с хромосомами 1, 3, 7, 8 и 11. Три QTL (*oil3*, *oil7* и *oil8*) были обнаружены в популяции F_2 и объяснили 11,86, 16,32 и 7,67 % дисперсии соответственно. Два QTL (*oil1* и *oil11*) были обнаружены в популяции F_3 и объясняли 13,88 и 12,49 % фенотипической дисперсии соответственно.

Эти QTL и связанные с ними маркеры позволяют создать пирамиду благоприятных аллелей для улучшения качества рисового зерна с помощью MAS (Ying et al., 2012).

Таким образом, было проведено большое число работ по выяснению наследования содержания масла в рисовом зерне. Однако генетическая основа биосинтеза масла в рисовых зернах долго оставалась неясной. В исследовании Zhou с коллегами (2021) с помощью комбинации методов генетического, трансгенного и биоинформатического анализа было проведено изучение состава и концентрации масла в различных группах из 533 культивируемых сортов риса. Наблюдалась высокая вариабельность по 11 признакам, связанным с содержанием масла, а состав масла в зернах риса продемонстрировал различия между сортами. Концентрация масла варьировала от 2,3 до 4,1 %. Из 10 идентифицированных жирных кислот доля пальмитиновой, олеиновой и линолевой кислот в масле составляет более 90 %.

Авторы идентифицировали 46 локусов, которые в значительной степени связаны с концентрацией или составом масла в зерне, 16 из которых были обнаружены в трех популяциях рекомбинантных инбредных линий. Из этих 46 локусов были идентифицированы двадцать шесть генов-кандидатов, кодирующих ферменты, участвующие в метаболизме масла, четыре

из которых (PAL6, LIN6, MYR2 и ARA6), как было установлено, способствуют естественной изменчивости состава масла и демонстрируют дифференциацию между популяциями. Авторы клонировали четыре гена, влияющих на состав масла в зернах риса, и подтвердили их влияние на биосинтез масла. Основываясь на этих результатах, был предложен возможный путь биосинтеза масла в зернах риса.

В целом в ходе GWAS и анализа сцепления было выявлено 99 QTL, из которых 94 были связаны с составом масла, а пять – с его концентрацией. Физические местоположения этих QTL представлены на рисунке 8. Множественные QTL были расположены в отдельных кластерах на 1-3 МБ и 23-25 МБ на хромосоме 6. Большая часть QTL связана с генами, участвующими в синтезе жирных кислот.

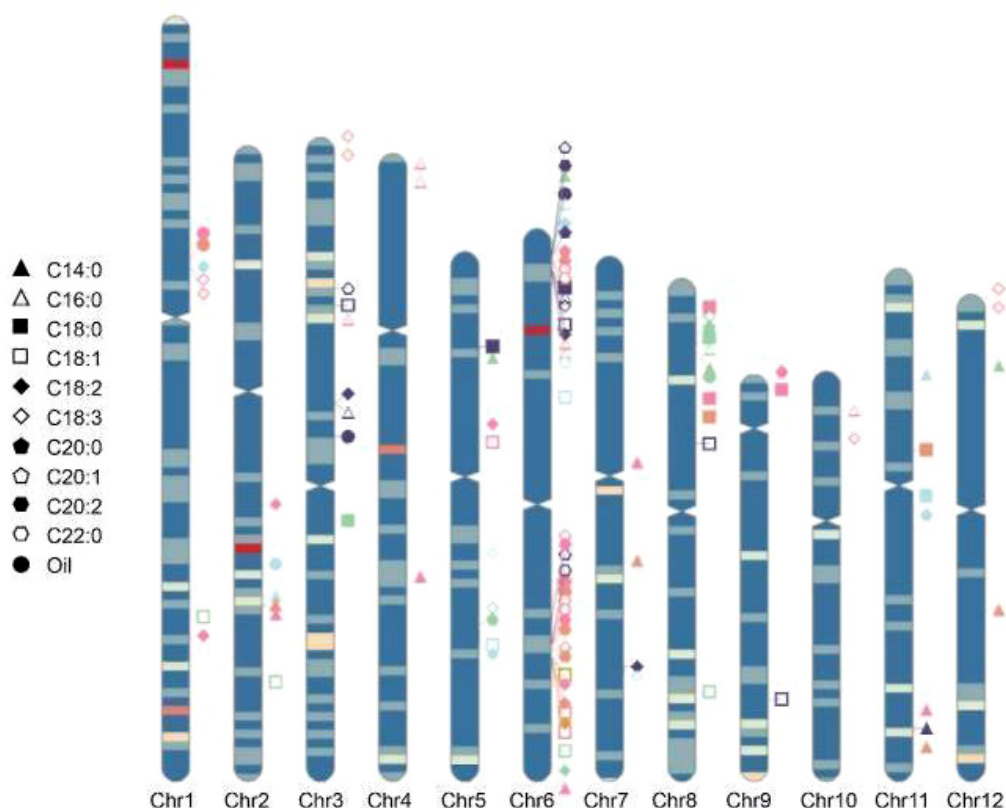


Рис. 8. Кариотип, показывающий QTL для 11 признаков, связанных с жиром.

Жирные кислоты: C14:0 – миристиновая; C16:0 – пальмитиновая; C18:0 – стеариновая; C18:1 – олеиновая; C18:2 – линолевая; C18:3 – линоленовая; C20:0 – арахидовая; C20:1 – гадолеиновая; C20:2 – эйкозодиеновая; C22:0 – бегеновая; Oil – содержание масла (Zhou et al., 2021)

Fig. 8. Karyotype showing QTL for 11 oil-related traits.

Note: fatty acids C14:0 – tetradecoic; C16:0 – palmitic; C18:0 – stearic; C18:1 – oleic; C18:2 – linoleic; C18:3 – linolenic; C20:0 – eicosanic; C20:1 – gadoleic; C20:2 – eicosapentaenoic; C22:0 – behenic; Oil – oil content (Zhou et al., 2021)

В совокупности эти результаты дают новое представление о генетических основах биосинтеза масла в зернах риса и могут способствовать выведению сортов риса с улучшенным качеством масла и зерна на основе маркеров (Zhou et al., 2021).

Заключение. В процессе обзора литературных источников по исследованию локусов количественных признаков, связанных с содержанием липидов в зерне риса, проведенных в Китае, Корее и Японии в 1983–2021 гг. с использованием дигиплоидных линий из гибридов между контрастно различающимися по содержанию липидов сортами риса,

было установлено, что с помощью микросателлитных маркеров были найдены QTL, контролирующие содержание жира на 12 хромосомах риса. В исследованиях ряда азиатских ученых было обнаружено от 1 до 99 QTL, которые надели на карту хромосом. В результате геномного исследования состава и концентрации масла в различных группах из 533 культивируемых сортов риса выявлено 99 QTL, из которых 94 были связаны с составом масла, а пять – с его концентрацией. Эти QTL позволят создать пирамиды благоприятных аллелей для улучшения качества риса с помощью маркерной селекции.

Библиографические ссылки

1. Chen J. G., Zhu J., Zang R. C. Genetic analysis of fat content in indica-japonica inter-subspecific hybrid rice (*Oryza sativa* L.) // Journal of Tropical and Subtropical Botany. 1998. Vol. 6, № 4. P. 347–351. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3395.1998.4.011

2. Cho Y.G., Kang H.J., Lee Y.T., McCouch S.R., Eun M.Y. QTL Analysis of rice quality using a recombinant inbred population // *Journal of Agricultural Science Chungbuk Nat'l Univ.* 2006. Vol. 23, P. 147–164.
3. Godber J.S., Juliano B.O. Rice lipids. In book: *Rice Chemistry and Technology*. 2004. P. 163–190.
4. Goffman F., Pinson S.R.M., Bergman C. Genetic diversity for lipid content and fatty acid profile in rice bran // *Oil & Soap*. 2003. Vol. 80(5), P. 485–490. DOI: 10.1007/s11746-003-0725-x
5. Hu Z.L., Li P., Zhou M.Q., Zhang Z.H., Wang L.X., Zhu L.H., Zhu Y.G. Mapping of quantitative trait loci (QTLs) for rice protein and fat content using doubled haploid lines // *Euphytica*. 2004. Vol. 135(1), P. 47–54. DOI: 10.1023/B:EUPH.0000009539.38916.32
6. Juliano, B. O. Rice in human nutrition // *FAO Food Nutrition Series*. Rome. 1993. № 26. 164 p.
7. Kang H.J., Cho Y.G., Lee Y.T., Kim Y.D., Eun M.Y., Shim J.U. QTL Mapping of genes related with grain chemical properties based on molecular map of rice // *Korean Journal of Crop Science*. 1998. Vol. 43, № 4. P. 199–204.
8. Kim N.H., Sohn J.K., Kim K.M. Physico-chemical characteristics and QTL mapping associated with the lipid content of high-lipid rice // *American Journal of Plant Sciences*. 2013. Vol. 4, № 10. P. 1949–1953. DOI: 10.4236/ajps.2013.410241
9. Liu W., Zeng J., Jiang G., He Y. QTLs identification of crude fat content in brown rice and its genetic basis analysis using DH and two backcross populations // *Euphytica*. 2009. Vol. 169, № 2. P. 197–205. DOI: 10.1007/s10681-009-9922-7
10. Matsuo T., Satoh H., Omura T. Oil content and fatty acid composition of a giant embryo mutant in rice // *Japanese Journal of Breeding*. 1987. Vol. 37, P. 185–191.
11. Omura T., Satoh H. Biology of rice // *The Biology of Rice*. Tokio, Elsevier, Amsterdam, 1984. Vol. 7, P. 293–303.
12. Qi Z.B., Li B.J., Yang W.G., Wu X.F. A study on the genetic of exterior quality and fat of the rice grains // *Acta Genetica Sinica*. 1983. Vol. 10, № 6. P. 452–458.
13. Qin Y., Kim S.M., Zhao X.H., Lee H.S., Jia B., Kim K.M., Eun M.Y., Sohn J.K. QTL Detection and MAS selection efficiency for lipid content in brown rice (*Oryza sativa* L.) // *Genes & Genomics*. 2010. Vol. 32, № 6. P. 506–512. DOI: 10.1007/s13258-010-0026-5
14. Yano M., Satoh H., Omura T. Gene analyses on the endosperm mutants induced by MNU treatment in rice // *Japanese Journal of Breeding*. 1980. Vol. 30 (Suppl. 1), P. 260–261.
15. Ying J.Z., Shan J.X., Gao J.P., Zhu M.Z., Shia M., Lin H.X. Identification of quantitative trait loci for lipid metabolism in rice seeds // *Molecular Plant*. 2012. Vol. 5, № 4. P. 865–875. DOI: 10.1094/1891127349.007
16. Yu Y.H., Li G., Fan Y.Y., Whang K.Q., Min J., Zhu Z.W., Zhuang J.Y. Genetic relationship between grain yield and the contents of protein and fat in a recombinant inbred population of rice // *Journal of Cereal Science*. 2009. Vol. 50, № 1. P. 121–125. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.03.008
17. Yun B.W., Kim M.G., Handoyo T., Kim K.M. Analysis of rice grain quality-associated quantitative trait loci by using genetic mapping // *American Journal of Plant Sciences*. 2014. Vol. 5, P. 1125–1132. DOI: 10.4236/ajps.2014.59125
18. Zhou H., Xia D., Li P., Ao Y., Xu X., Wan S., Li Y., Wu B., Shi H., Wang K., Gao G., Zhang Q., Wang G., Xiao J., Li X., Yu S., Lian X., He Y. Genetic architecture and key genes controlling the diversity of oil composition in rice grains // *Molecular Plant*. 2021. Vol. 14, P. 456–469. DOI: 10.1016/j.molp.2020.12.001

References

1. Chen J.G., Zhu J., Zang R.C. Genetic analysis of fat content in indica-japonica inter-subspecific hybrid rice (*Oryza sativa* L.) // *Journal of Tropical and Subtropical Botany*. 1998. Vol. 6, № 4. P. 347–351. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3395.1998.4.011
2. Cho Y.G., Kang H.J., Lee Y.T., McCouch S.R., Eun M.Y. QTL Analysis of rice quality using a recombinant inbred population // *Journal of Agricultural Science Chungbuk Nat'l Univ.* 2006. Vol. 23, P. 147–164.
3. Godber J.S., Juliano B.O. Rice lipids. In book: *Rice Chemistry and Technology*. 2004. P. 163–190.
4. Goffman F., Pinson S.R.M., Bergman C. Genetic diversity for lipid content and fatty acid profile in rice bran // *Oil & Soap*. 2003. Vol. 80(5), P. 485–490. DOI: 10.1007/s11746-003-0725-x
5. Hu Z.L., Li P., Zhou M.Q., Zhang Z.H., Wang L.X., Zhu L.H., Zhu Y.G. Mapping of quantitative trait loci (QTLs) for rice protein and fat content using doubled haploid lines // *Euphytica*. 2004. Vol. 135(1), P. 47–54. DOI: 10.1023/B:EUPH.0000009539.38916.32
6. Juliano, B. O. Rice in human nutrition // *FAO Food Nutrition Series*. Rome. 1993. № 26. 164 p.
7. Kang H.J., Cho Y.G., Lee Y.T., Kim Y.D., Eun M.Y., Shim J.U. QTL Mapping of genes related with grain chemical properties based on molecular map of rice // *Korean Journal of Crop Science*. 1998. Vol. 43, № 4. P. 199–204.
8. Kim N.H., Sohn J.K., Kim K.M. Physico-chemical characteristics and QTL mapping associated with the lipid content of high-lipid rice // *American Journal of Plant Sciences*. 2013. Vol. 4, № 10. P. 1949–1953. DOI: 10.4236/ajps.2013.410241
9. Liu W., Zeng J., Jiang G., He Y. QTLs identification of crude fat content in brown rice and its genetic basis analysis using DH and two backcross populations // *Euphytica*. 2009. Vol. 169, № 2. P. 197–205. DOI: 10.1007/s10681-009-9922-7
10. Matsuo T., Satoh H., Omura T. Oil content and fatty acid composition of a giant embryo mutant in rice // *Japanese Journal of Breeding*. 1987. Vol. 37, P. 185–191.
11. Omura T., Satoh H. Biology of rice // *The Biology of Rice*. Tokio, Elsevier, Amsterdam, 1984. Vol. 7, P. 293–303.

12. Qi Z. B., Li B. J., Yang W. G., Wu X. F. A study on the genetic of exterior quality and fat of the rice grains // *Acta Genetica Sinica*. 1983. Vol. 10, № 6. P. 452–458.
13. Qin Y., Kim S. M., Zhao X. H., Lee H. S., Jia B., Kim K. M., Eun M. Y., Sohn J. K. QTL Detection and MAS selection efficiency for lipid content in brown rice (*Oryza sativa* L.) // *Genes & Genomics*. 2010. Vol. 32, № 6. P. 506–512. DOI: 10.1007/s13258-010-0026-5
14. Yano M., Satoh H., Omura T. Gene analyses on the endosperm mutants induced by MNU treatment in rice // *Japanese Journal of Breeding*. 1980. Vol. 30 (Suppl. 1), P. 260–261.
15. Ying J. Z., Shan J. X., Gao J. P., Zhu M. Z., Shia M., Lin H. X. Identification of quantitative trait loci for lipid metabolism in rice seeds // *Molecular Plant*. 2012. Vol. 5, № 4. P. 865–875. DOI: 10.1094/1891127349.007
16. Yu Y. H., Li G., Fan Y. Y., Whang K. Q., Min J., Zhu Z. W., Zhuang J. Y. Genetic relationship between grain yield and the contents of protein and fat in a recombinant inbred population of rice // *Journal of Cereal Science*. 2009. Vol. 50, № 1. P. 121–125. DOI: 10.1016/j.jcs.2009.03.008
17. Yun B. W., Kim M. G., Handoyo T., Kim K. M. Analysis of rice grain quality-associated quantitative trait loci by using genetic mapping // *American Journal of Plant Sciences*. 2014. Vol. 5, P. 1125–1132. DOI: 10.4236/ajps.2014.59125
18. Zhou H., Xia D., Li P., Ao Y., Xu X., Wan S., Li Y., Wu B., Shi H., Wang K., Gao G., Zhang Q., Wang G., Xiao J., Li X., Yu S., Lian X., He Y. Genetic architecture and key genes controlling the diversity of oil composition in rice grains // *Molecular Plant*. 2021. Vol. 14, P. 456–469. DOI: 10.1016/j.molp.2020.12.001

Поступила: 03.05.24; доработана после рецензирования: 30.05.24; принята к публикации: 04.06.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Костылев П. И. – научное руководство, постановка цели и задач, концептуализация исследования, написание текста статьи; Краснова Е. В. – сбор и анализ данных; Дубина Е. В. – анализ литературных источников.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.16:633.13:631.5(571.51)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-78-84

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ И ОВСА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НОРМ ВЫСЕВА СЕМЯН В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Л. К. Бутковская, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства, lidabut16@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9588-1071;

В. Е. Мудрова, научный сотрудник лаборатории первичного семеноводства, mudrova1969@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-2041-2657;

А. О. Поляков, агроном лаборатории первичного семеноводства, polikovandrew@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5675-9548

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, 660041, Красноярский край, Красноярск, проспект Свободный, д. 66; e-mail: secretary@sh.krasn.ru

Цель исследований – биоэнергетическая оценка различных норм высева семян сортов ярового ячменя и овса в условиях Красноярской лесостепи. Опыты проводили в 2021–2023 гг. в д. Минино Емельяновского района Красноярского края. Объекты изучения: сорта ярового ячменя Абалак, Такмак, Оплот и Биом; сорта ярового овса Тубинский, Саян, Казыр, Успех. Схемы опытов: сорта ячменя с нормами высева 3,5, 4,0, 4,5 млн всхожих зерен на га; сорта овса с нормами высева 4,0, 4,5, 5,0 млн всхожих зерен на га. Высокая урожайность (5,60–5,71 т/га) наблюдалась у сортов ячменя Оплот и Такмак, остальные сорта уступали на 0,9–1,4 т/га. Выявлено, что коэффициент размножения семян ячменя увеличивался до 34,6 при норме высева 3,5 млн всхожих зерен на га и уменьшался до 22,2–31,3 при норме высева 4,5 млн всхожих зерен на га. Установлено, что среди овсов наибольшую урожайность сформировал сорт Тубинский при норме высева 5,0 млн всхожих зерен на га – 4,79 т/га, далее по мере убывания следуют Саян – 4,85 т/га, новый перспективный сорт Успех – 4,67 т/га и Казыр – 4,53 т/га. Коэффициент размножения достигал 26,9–29,7 при 4,0 млн всхожих зерен на га и 21,3–23,5 при 5,0 млн всхожих зерен на га. Энергетическая оценка показала, что оптимальная норма высева для сортов ячменя 4,5 млн всхожих зерен на га, для сортов овса – 4,0 млн всхожих зерен на га. Прирост общей энергии (разность между совокупной общей энергией и затратами энергии) по сортам ячменя Такмак и Оплот составляет 94,4 и 83,2 Гдж/га соответственно. Для сортов овса Тубинский и Саян – 58,9 и 59,0 Гдж/га соответственно.

Ключевые слова: яровой ячмень, яровой овес, сорт, нормы высева, биоэнергетическая оценка, коэффициент размножения семян.

Для цитирования: Бутковская Л. К., Мудрова В. Е., Поляков А. О. Биоэнергетическая оценка возделывания сортов ярового ячменя и овса в зависимости от норм высева семян в условиях Красноярской лесостепи // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 78–84. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-78-84.



BIOENERGY ESTIMATION OF SPRING BARLEY AND OAT VARIETIES' CULTIVATION DEPENDING ON SEED-SOWING RATES IN THE KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

L. K. Butkovskaya, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for primary seed production, lidabut16@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-9588-1071;

V. E. Mudrova, researcher of the laboratory for primary seed production, mudrova1969@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0002-2041-2657;

A. O. Polyakov, agronomist of the laboratory for primary seed production, polikovandrew@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-5675-9548

Krasnoyarsky Research Institute of Agriculture, separate structural unit of the Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences 660041, Krasnoyarsk Krai, Pr. Svobodny, 66; e-mail: secretary@sh.krasn.ru

The purpose of the current study was a bioenergy estimation of different seed sowing rates of spring barley and oat varieties in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe. The trials were carried out in the village of Minino, Emelyanovsky district, Krasnoyarsk Krai in 2021–2023. The objects of the study were the spring barley varieties 'Abalak', 'Takmak', 'Oplot', 'Biom' and the spring oat varieties 'Tubinsky', 'Sayan', 'Kazyr', 'Uspekh'. Experimental schemes were as follows: barley varieties with seeding rates of 3.5, 4.0, 4.5 million germ. grains per hectare; oat varieties with seeding rates of 4.0, 4.5, 5.0 million germ. grains per hectare. High yields (5.60–5.71 t/ha) were produced by the barley varieties 'Oplot' and 'Takmak', while other varieties produced less on 0.9–1.4 t/ha. There has been revealed that the reproduction coefficient of barley seeds increased to 34.6 at a seed-sowing rate of 3.5 million germ. grains per hectare and decreased to 22.2–31.3 at a seed-sowing rate of 4.5 million germ. grains per hectare. There has been established

that among oats, the variety 'Tubinsky' produced the highest yield of 4.79 t/ha at a seeding rate of 5.0 million germ. grains per hectare, followed by the variety 'Sayan' with 4.85 t/ha, the new promising variety 'Uspek' with 4.67 t/ha and 'Kazyr' with 4.53 t/ha. The reproduction coefficient reached 26.9–29.7 with 4.0 million germ. grains per hectare and 21.3–23.5 at 5.0 million germ. grains per hectare. The energy estimation has shown that the optimal seed-sowing rate is 4.5 million germ. grains per hectare for barley varieties and 4.0 million germ. grains per hectare for oat varieties. The total energy increase (the difference between the total energy and energy costs) was 94.4 and 83.2 GJ/ha for the barley varieties 'Takmak' and 'Oplot', respectively and 58.9 and 59.0 GJ/ha for the oat varieties 'Tubinsky' and 'Sayan'.

Keywords: spring barley, spring oats, variety, seed-sowing rates, bioenergy estimation, seed reproduction coefficient.

Введение. В основе выращивания сельскохозяйственных культур содержится набор технологических операций, которые требуют экономического обоснования и выгоды.

Распространение новых сортов – один из наиболее доступных, энергосберегающих и экономически оправданных способов увеличения валовых сборов зерна в сельскохозяйственном производстве.

Каждый сорт предъявляет определенные требования к условиям произрастания. Для их эффективного использования необходимо разрабатывать соответствующую сортовую агротехнику в конкретных почвенно-климатических условиях. Среди многих технологических процессов, оказывающих влияние на формирование урожайности и посевных качеств семян, наиболее существенными и контролируемыми приемами являются применение минеральных удобрений, различных норм посева и сроков посева. Более того, определение оптимальных критериев интенсивности технологии для отдельно взятого сорта позволит повысить энергоотдачу и обеспечить наибольшую окупаемость затраченных ресурсов (Лапина и др., 2021; Фадеева и др., 2019).

Влияние норм посева на урожайность часто оказывается более эффективным, чем другие агротехнические приемы (Бутковская и др., 2020).

В связи с возросшей ролью зерновых культур в мировой экономике в последние годы стоит задача уточнения оптимальной плотности продуктивного стеблестоя для формирования максимальной урожайности и высокого качества семян каждого конкретного сорта в отдельном регионе (Пискарев и др., 2018).

Изменение нормы посева оказывает влияние как на элементы структуры, так и на качественные показатели зерна. При уменьшении нормы увеличивается площадь питания проростков, обеспечивая более дружное прорастание семян и возрастание полевой всхожести (Дубровский и др., 2023).

Важным показателем в первичном семеноводстве зерновых культур является коэффициент размножения семян (масса собранных семян к массе высевных). Опыты показывают, что наибольший показатель наблюдается при низких нормах посева, поэтому в условиях недостатка посевного материала целесообразно использовать пониженные нормы, что к тому же будет более выгодно с точки зрения экономики (Бутковская и Мудрова, 2021; Пискарев и др., 2018).

Сорт должен формировать экономически оправданные прибавки урожая на дополнительные вложения в агротехнику, что особенно актуально в сложившихся рыночных условиях, а также обладать пластичностью и стабильной урожайностью в разные по метеорологическим условиям годы.

Изучение любого вопроса по технологиям возделывания культур, помимо частных агрономических вопросов, непременно должно сопровождаться и экономическим анализом, так как они не могут быть использованы в производстве, если будут убыточны.

В последние годы оценка биоэнергетической эффективности агроприемов возделывания сельскохозяйственных культур имеет большое значение и представляет значительный научный и практический интерес. Ее применение дает возможность в сопоставимых энергетических эквивалентах выразить не только затраты живого и овеществленного труда на технологические процессы, но также энергию, воплощенную в получаемой продукции. Переход на энергосберегающие технологии дает возможность уменьшить производственные расходы на 30–40 %, в 1,5–2 раза сократить трудовые затраты, снизить расход ГСМ и повысить уровень рентабельности производства зерновой продукции (Еремина и Куткина, 2018).

К показателям биоэнергетической эффективности относятся:

- затраты совокупной энергии, Мдж/га – это основные средства производства (трактора, с.-х. машины, орудия); оборотные средства производства (семена, удобрения, пестициды) трудовые ресурсы (механизаторы, полевые рабочие);
- совокупный сбор общей энергии Мдж/га – это выход валовой энергии с урожая основной продукции.

Прирост общей энергии – это разница затрат совокупной энергии и совокупного сбора общей энергии (Лапина и др., 2021).

Расчет затрат, необходимых для производства семян, основывался на данных технологических карт с учетом сложившихся на момент написания настоящей работы цен на семенной материал, ГСМ, амортизацию техники и оборудования, оплату труда рабочих.

Объективной оценкой может быть определение энергетической эффективности возделывания культуры, сорта, применения технологического приема. Для этого необходимо учесть все энергозатраты на возделывание

культуры или использование технологического приема, выявить степень окупаемости при получении урожая. Энергетическая оценка сорта или приема при необходимости может быть переведена в любые денежные единицы, если известна стоимость одного гигаджоуля.

Мероприятия по использованию технологических приемов выращивания культур в сельскохозяйственном производстве должны быть энергетически целесообразными (Жеряков и Лыкова, 2011; Лапина и др., 2021).

Цель исследований – провести биоэнергетическую оценку различных норм высева сортов ярового ячменя и овса в условиях Красноярской лесостепи.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2021–2023 гг. на опытных полях Красноярского НИИСХ в д. Минино Емеляновского района Красноярского края. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный маломощный тяжелосуглинистый, характеризующийся следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 3,8 %, реакция среды нейтральная ($pH_{\text{сол.}} = 6,4$), гидролитическая кислотность – 1,3 мг-экв./100 г, содержание нитратного азота очень низкое – 3,3 мг/кг, подвижного фосфора (по Чирикову) – очень высокое (200–250 мг/кг), калия – высокое (145 мг/кг).

В качестве объектов исследований использовали семена районированных сортов ярового ячменя: Абалак, Такмак, Оплот и Биом; овса ярового: Тубинский, Саян, Казыр, Успех.

Схемы опытов

Опыт первый. Партии семян ярового ячменя Абалак, Такмак, Биом, Оплот с нормами высева 3,5, 4,0, 4,5 млн всхожих зерен на га.

Опыт второй. Партии семян овса Тубинский, Саян, Казыр, Успех с нормами высева 4,0, 4,5, 5,0 млн всхожих зерен на га.

Площадь опытных делянок 10 м², повторность трехкратная. Посевы опытов осуществляли сеялкой ССФК-7, уборку – комбайном Wintersteiger Classic, зерно просушивали, очищали, взвешивали, определяли энергию прорастания, всхожесть согласно ГОСТ 12036-66. Полевые опыты и наблюдения проводили согласно Методике полевого опыта (Доспехов, 2014). Затраты биоэнергетики и получения

совокупной энергии с урожаем в результате возделывания зерновых культур с различными нормами высева рассчитывали согласно Методическим указаниям по энергетической оценке технологий возделывания с.-х. культур (1997).

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием пакета прикладных программ SNEDECOR и Microsoft Excel.

Метеорологические условия вегетационного периода 2021, 2022 и 2023 гг. можно охарактеризовать как засушливые. Количество осадков по месяцам было неравномерным, в 2022 г. на фазу всходов пришлось основная засуха, за счет чего эта фаза затянулась; 2023 г. был самым неблагоприятным и засушливым, урожайность была ниже, чем в другие годы исследований.

Результаты и их обсуждение. Одним из путей повышения урожайности и формирования полноценных семян хорошего качества является оптимальная площадь питания растений, пределы загущения зависят от биологических особенностей сорта (Бутковская и Мудрова, 2021).

В наших исследованиях продуктивность сортов ячменя увеличивалась в загущенных посевах на 0,2–0,4 т/га по сравнению с разреженными.

Наиболее высокая урожайность (5,12–5,71 т/га) в среднем наблюдалась у сортов Такмак и Оплот при всех нормах высева (табл. 1).

Большое значение имеет коэффициент размножения (отношение массы собранных семян к массе высеянных). Данный показатель у сортов ячменя изменялся от 25,2–34,6 при 3,5 млн всхожих зерен на га до 22,2–32,4 при норме высева 4,5 млн всхожих зерен на га (табл. 1).

Анализ таблицы 1 показал, что, по энергетической оценке, оптимальным оказался вариант с нормой высева семян сортов ячменя 4,5 млн всхожих зерен на га, прирост общей энергии (разность между совокупной общей энергией и затратами энергии) в этих случаях составил 57,7–94,4 Гдж/га. Более эффективно использовали данные агротехнические приемы сорта Такмак (94,4 Гдж/га) и Оплот (83,2 Гдж/га).

Таблица 1. Урожайность, коэффициенты размножения и биоэнергетическая оценка семян сортов ячменя при различных нормах высева (2021–2023 гг.)

Table 1. Productivity, seed reproduction coefficient and bioenergy estimation of barley varieties at different seed-sowing rates (2021–2023)

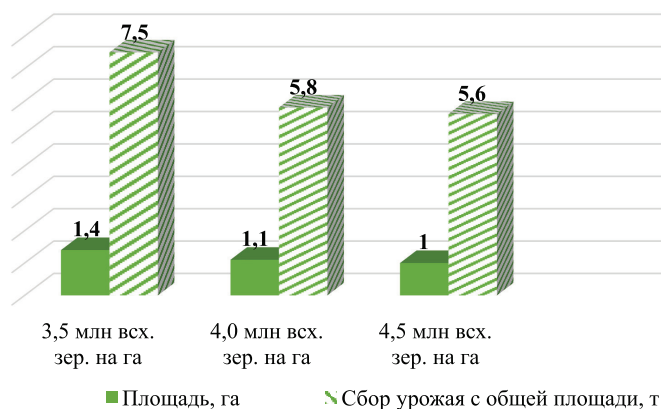
Сорт	Норма высева, млн всхожих зерен на га	Норма высева, т/га	Средняя урожайность, т/га	Коэффициент размножения	Затраты совокупной энергии, Гдж/г	Совокупный сбор общей энергии, Гдж/га	Прирост общей энергии, Гдж/га
Абалак	3,5	0,15	4,05	27,0	14,1	67,4	53,2
	4,0	0,17	4,10	24,1	14,7	68,1	53,4
	4,5	0,19	4,24	22,2	15,4	70,6	57,7
Такмак	3,5	0,15	5,12	34,6	14,1	100,8	86,6
	4,0	0,17	5,50	33,6	14,7	104,3	89,6
	4,5	0,19	5,71	31,3	15,4	110,8	94,4

Продолжение табл. 1

Сорт	Норма высева, млн всхожих зерен на га	Норма высева, т/га	Средняя урожайность, т/га	Коэффициент размножения	Затраты совокупной энергии, Гдж/г	Совокупный сбор общей энергии, Гдж/га	Прирост общей энергии, Гдж/га
Биом	3,5	0,15	3,78	25,2	14,1	62,9	48,7
	4,0	0,17	4,11	24,2	14,7	68,4	53,5
	4,5	0,19	4,21	32,4	15,4	73,4	57,8
Оплот	3,5	0,16	5,33	32,7	14,1	86,9	72,8
	4,0	0,18	5,35	29,4	14,7	89,0	74,1
	4,5	0,20	5,60	28,7	15,4	98,8	83,2
HCP _{0,5} норма высева – 0,2							
HCP _{0,5} сорт – 1,1							

Например, при посеве 0,2 т сорта Оплот и норме высева 3,5 млн всхожих зерен на га засевалось 1,4 га, далее при норме высева 4,0 млн всхожих зерен на га такое же количество семян сеялось на 1,1 га, и при 4,5 млн всхожих зерен на га площадь равнялась 1,0 га. Валовой сбор урожая получался 7,5, 5,8 и 5,6 т соответственно,

то есть выше при меньшей норме высева (см. рисунок). Новый сорт Оплот взят нами как пример для наглядности. У остальных сортов ячменя и овса аналогичные показатели в зависимости от норм высева, мы посчитали, что нет необходимости описывать и изображать их на рисунках.



Эффективность применения различных норм высева на примере сорта Оплот (2021–2023 гг.)
The efficiency of using different seed-sowing rates using the example of the variety 'Oplot' (2021–2023)

Уровень урожайности и коэффициенты размножения не дают полного представления об энергетической ценности выращиваемой продукции. Важно знать общие затраты биоэнергетики и получения совокупной энергии с урожаем в результате возделывания зерновых культур с различными нормами высева. Данные параметры представлены в таблице 1.

Среди овсов наибольшую урожайность (табл. 2) сформировал сорт Тубинский при норме высева 5,0 млн всхожих зерен на га – 4,57 т/га, далее по мере убывания следуют Саян – 4,48 т/га, новый перспективный сорт Успех – 4,50 т/га и Казыр – 4,52 т/га.

Коэффициент размножения у сортов овса изменялся от 26,9–29,8 при 4,0 млн всхожих зерен на га до 21,3–23,5 при 5,0 млн всхожих зерен на га.

Таблица 2. Урожайность, коэффициент размножения и биоэнергетическая оценка возделывания сортов овса в зависимости от норм высева (2021–2023 гг.)
Table 2. Productivity, seed reproduction coefficient and bioenergy estimation of oat varieties at different seed-sowing rates (2021–2023)

Сорта	Вариант	Норма высева, т/га	Урожайность, т/га	Коэффициент размножения	Затраты совокупной энергии, Гдж/г	Совокупный сбор общей энергии, Гдж/га	Прирост общей энергии, Гдж/га
Тубинский	4,0	0,16	4,53	28,3	14,4	74,3	59,9
	4,5	0,18	4,57	25,4	15,1	73,9	58,6
	5,0	0,20	4,57	22,9	15,3	73,9	58,6
Саян	4,0	0,17	4,58	26,9	15,0	74,1	59,0
	4,5	0,19	4,55	23,9	16,1	73,6	57,4
	5,0	0,21	4,48	21,3	16,4	72,4	56,1

Продолжение табл. 2

Сорта	Вариант	Норма высева, т/га	Урожайность, т/га	Коэффициент размножения	Затраты совокупной энергии, Гдж/г	Совокупный сбор общей энергии, Гдж/га	Прирост общей энергии, Гдж/га
Казыр	4,0	0,16	4,39	27,4	14,5	71,0	56,5
	4,5	0,18	4,33	24,1	15,4	70,0	54,7
	5,0	0,20	4,52	22,6	16,2	75,1	54,4
Успех	4,0	0,15	4,47	29,8	14,6	71,5	56,9
	4,5	0,17	4,39	25,8	15,4	71,1	55,6
	5,0	0,19	4,50	23,5	17,1	72,1	54,8
НСП _{0,5} норма высева – 0,1							
НСП _{0,5} сорт – 0,2							

Энергетическая оценка сортов овса показала, что в отличие от ячменя разница по вариантам значительно ниже. По приросту общей энергии (разность между совокупной общей энергией и затратами энергии) выделились сорта Тубинский и Саян с нормой высева 4,0 млн всхожих зерен на га и составили 59,9 и 59,0 Гдж/га соответственно.

Таким образом, при оценке различных элементов технологии возделывания основным критерием является урожайность, а также эко-

номическая и биоэнергетическая оценка изучаемых агроприемов.

Для семеноводческих посевов, помимо урожайности сортов, важной характеристикой посевных качеств являются всхожесть и масса 1000 зерен. В среднем за три года всхожесть семян ярового ячменя формировалась на уровне 87–95 % и была выше на 1–8 % в загущенных посевах, масса 1000 зерен достигала 40,5–46,2 г и была выше в разреженных посевах на 1,1–1,8 г (табл. 3).

Таблица 3. Влияние норм высева на урожайность и качество семян сортов ячменя (2021–2023 гг.)
Table 3. The effect of seed-sowing rates on productivity and quality of barley varieties' seeds (2021–2023)

Сорт	Норма высева, млн всхожих зерен на га	Масса 1000 зерен, г	Всхожесть, %
Абалак	3,5	42,2	87
	4,0	40,5	88
	4,5	40,8	90
Такмак	3,5	41,8	88
	4,0	40,7	89
	4,5	40,0	92
Биом	3,5	45,8	88
	4,0	44,8	89
	4,5	44,0	94
Оплот	3,5	46,2	87
	4,0	45,3	88
	4,5	45,1	95
		НСП _{0,5} норма высева – 1,2 НСП _{0,5} сорт – 2,0	НСП _{0,5} норма высева – 1,0 НСП _{0,5} сорт – 2,0

Масса 1000 зерен у сортов овса уменьшалась с понижением нормы высева до 4,0 млн всхожих зерен на га и составляла

36,9–40,3 г, всхожесть семян сформировалась на уровне 89–98 % и была выше на 1–6 % в загущенных посевах (табл. 4)

Таблица 4. Влияние норм высева на урожайность и качество семян сортов овса (2021–2023 гг.)
Table 4. The effect of seed-sowing rates on productivity and quality of oat varieties' seeds (2021–2023)

Сорт	Норма высева, млн всхожих зерен на га	Масса 1000 зерен, г	Всхожесть, %
Тубинский	4,0	38,4	93
	4,5	38,0	94
	5,0	39,8	94
Саян	4,0	40,3	89
	4,5	42,4	95
	5,0	42,8	95
Казыр	4,0	36,9	96
	4,5	37,5	96
	5,0	38,9	98
Успех	4,0	37,5	95
	4,5	38,0	98
	5,0	38,5	98
		НСП _{0,5} норма высева – 1,1 НСП _{0,5} сорт – 1,1	НСП _{0,5} норма высева – 1,0 НСП _{0,5} сорт – 2,0

Выводы.

1. Коэффициенты размножения семян увеличивались с понижением норм высева: для ячменя – 3,5–4,0 млн всхожих зерен на га, для овса – 4,0–4,5 млн всхожих зерен на га. У сортов ячменя данный показатель изменялся от 25,2–34,6 при 3,5 млн всхожих зерен на га до 22,2–32,4 при 4,5 млн всхожих зерен на га; у сортов овса он изменялся от 26,9–29,8 при 4,0 млн всхожих зерен на га до 21,3–23,5 при 5,0 млн всхожих зерен на га. Целесообразно использовать разреженные посевы в семеноводстве при ускоренном размножении новых и перспективных сортов зерновых культур.

2. В среднем за годы исследований наибольшие показатели биоэнергетической эффективности отмечались у сортов ячменя с увеличением нормы высева до 4,5 млн всхожих зерен на га, при этом значительно выделился сорт Такмак с приростом

общей энергии 94,4 Гдж/га (выше других сортов на 11,2–36,7 Гдж/га).

3. Биоэнергетическая эффективность сортов овса выше в разреженных посевах при норме 4,0 млн всхожих зерен на га. Наиболее высокие показатели по приросту общей энергии показали сорта Тубинский – 59,9 Гдж/га и Саян – 59,0 Гдж/га (выше других сортов на 3,0–5,2 Гдж/га).

4. Всхожесть семян зерновых культур увеличивалась в загущенных посевах. Масса 1000 зерен у сортов ячменя больше в разреженных посевах на 1,1–1,8 г, в то же время как у сортов овса данная величина уменьшалась с понижением нормы высева на 0,4–1,8 г.

Таким образом, при подборе норм высева семян зерновых культур важно учитывать все характеристики вариантов: коэффициенты размножения, биоэнергетическую эффективность, а также посевные качества, сформированные при той или иной технологии возделывания.

Библиографические ссылки

1. Бутковская Л. К., Мудрова В. Е. Влияние первоначальной всхожести на качество семян зерновых культур в условиях Красноярской лесостепи // Вестник БГСХА им В. Р. Филиппова. 2021. № 4. С. 6–13. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.001
2. Бутковская Л. К., Кузьмин Д. Н., Казанов В. В. Влияние удобрений и сроков посева на формирование элементов структуры продуктивности овса // Земледелие. 2020. № 1. С. 20–22 DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10105
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Дубровский А. В., Соломатина Н. В., Попова О. В., Ветров В. Ф., Полянский Н. А. Влияние нормы высева на урожайность ярового ячменя в условиях Тамбовской области // Наука и образование. 2023. Т. 6, № 1. С. 231.
5. Жеряков Е. В., Лыкова А. С. Экономическая и энергетическая эффективность технологических приемов возделывания ярового рапса // Молодой ученый. 2011. № 10(33). С. 211–213.
6. Еремينا И. Г., Куткина Н. В. Биоэнергетическая эффективность севооборота при новом способе освоения залежных земель // Вестник АПК «Верхневолжье». 2018. № 4. С. 38–43.
7. Лапина Е. Н., Карпова М. В., Рознина Н. В. Экономическая и биоэнергетическая эффективность технологии возделывания льна масличного // Актуальные вопросы современной экономики. 2021. № 4. С. 380–386.
8. Методические указания по энергетической оценке технологий возделывания с.-х. культур / Сост. П. Ф. Сутыгин. Ижевск: ИжГСХА, 1997. 37 с.
9. Пискарев В. В., Зуев Е. В., Брыкова А. Н. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Новосибирской области // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 7. С. 784–794 <https://doi.org/10.18699/VJ18.422>
10. Фадеева И. Д., Тагиров М. Ш., Газизов И. Н. Влияние сроков посева и норм высева на урожайность новых сортов озимой пшеницы // Земледелие. 2019. № 3. С. 21–24. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10305

References

1. Butkovskaya L. K., Mudrova V. E. Vliyanie pervonachal'noi vskhozhesti na kachestvo semyan zernovykh kul'tur v usloviyakh Krasnoyarskoi lesostepi [The effect of initial germination on the quality of grain seeds in the Krasnoyarsk forest-steppe conditions] // Vestnik BGSKhA im V. R. Filippova. 2021. № 4. S. 6–13. DOI: 10.34655/bgsha.2021.65.4.001
2. Butkovskaya L. K., Kuz'min D. N., Kazanov V. V. Vliyanie udobrenii i srokov poseva na formirovanie elementov struktury produktivnosti ovsa [The effect of fertilizers and sowing dates on the formation of yield structure elements of oats] // Zemledelie. 2020. № 1. S. 20–22 DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10105
3. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
4. Dubrovskii A. V., Solomatina N. V., Popova O. V., Vetrov V. F., Polyanskii N. A. Vliyanie normy vyseva na urozhainost' yarovogo yachmenya v usloviyakh Tambovskoi oblasti [The effect of seeding rates on spring barley productivity in the conditions of the Tambov region] // Nauka i obrazovanie. 2023. T. 6, № 1. S. 231.
5. Zheryakov E. V., Lykova A. S. Ekonomicheskaya i energeticheskaya effektivnost' tekhnologicheskikh priemov vozdel'yvaniya yarovogo rapsa [Economic and energy efficiency of technological methods for cultivating spring rapeseed] // Molodoi uchenyi. 2011. № 10(33). S. 211–213.

6. Eremina I. G., Kut'kina N. V. Bioenergeticheskaya effektivnost' sevooborota pri novom sposobe osvoeniya zaleznykh zemel' [Bioenergy efficiency of crop rotation with a new method of developing fallow lands] // Vestnik APK «Verkhnevolzh'e». 2018. № 4. S. 38–43
7. Lapina E. N., Karpova M. V., Roznina N. V. Ekonomicheskaya i bioenergeticheskaya effektivnost' tekhnologii vzdelyvaniya l'na maslichnogo [Economic and bioenergy efficiency of oil flax cultivation technology] // Aktual'nye voprosy sovremennoi ekonomiki. 2021. № 4. S. 380–386.
8. Metodicheskie ukazaniya po energeticheskoi otsenke tekhnologii vzdelyvaniya s.-kh. kul'tur [Methodical recommendations for energy estimation of agricultural cultivation technologies for grain crops] / Sost. P. F. Sutygin. Izhevsk: IzhGSKhA, 1997. 37 s.
9. Piskarev V. V., Zuev E. V., Brykova A. N. Iskhodnyi material dlya selektsii yarovoi myagkoi pshenitsy v usloviyakh Novosibirskoi oblasti [Initial material for breeding spring common wheat in the conditions of the Novosibirsk region] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. № 7. S. 784–794 <https://doi.org/10.18699/VJ18.422>.
10. Fadeeva I. D., Tagirov M. Sh., Gazizov I. N. Vliyanie srokov poseva i norm vyseva na urozhainost' novykh sortov ozimoi pshenitsy [The effect of sowing dates and seeding rates on productivity of new winter wheat varieties] // Zemledelie. 2019. № 3. S. 21–24. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10305

Поступила: 06.03.24; доработана после рецензирования: 02.05.24; принята к публикации: 03.05.24.

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. Бутковская Л. К. – концептуализация исследования; Бутковская Л. К., Мудрова В. Е. – подготовка опыта; Мудрова В. Е., Поляков А. О. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных; Бутковская Л. К., Поляков А. О. – анализ данных и их интерпретация; Поляков А. О. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕРНОВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СВЕКЛОВИЧНЫХ СЕВООБОРОТОВ В ЛЕСОСТЕПИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

Т. А. Дудкина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, dt5dt@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1116-4548;

В. И. Свиридов, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и адаптивных агротехнологий, kafdgm@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0899-2350
ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр»,
305021, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 70 б; e-mail: kurskfarc@mail.ru

Целью исследований являлось изучение влияния различных севооборотов и норм внесения минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя, продуктивность севооборотов и экономическую эффективность возделывания сельскохозяйственных культур. Исследования проведены в стационарном полевом опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ» на черноземе типичном тяжелосуглинистом в 2015–2023 годах. Сельскохозяйственные культуры выращивали в трех севооборотах: 1 – зернопаропропашном (черный пар, озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза на силос, ячмень); 2 – зернопаропропашном сидеральном (сидеральный пар, озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза на силос, ячмень); 3 – плодосменном (конские бобы на зерно, озимая пшеница, сахарная свекла, люпин белый на зерно, ячмень). В опыте сравнивались два контрастных уровня внесения минеральных удобрений – $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{52}P_{52}K_{52}$ на гектар севооборотной площади. Нетоварная часть урожая всех культур использовалась в качестве удобрения. Агротехника общепринятая для зоны. Установлено, что при всех погодных условиях наибольшая урожайность озимой пшеницы на низком фоне удобрений ($N_{30}P_{30}K_{30}$ на гектар севооборотной площади) достигается по сидеральному пару, а на более высоком ($N_{52}P_{52}K_{52}$ на гектар севооборотной площади) – по черному пару. Выявлено, что наиболее благоприятные условия для возделывания ячменя создавались при его возделывании по люпину белому на зерно. Повышение удобрений приводило к росту урожайности культур, но в то же время к снижению рентабельности производства продукции. Определено, что продуктивность севооборотов с паровыми предшественниками выше на 14 % по сравнению с севооборотом с бобовым предшественником (конские бобы на зерно). Согласно проведенным расчетам, в среднем за годы исследований наиболее рентабельным было выращивание озимой пшеницы по черному пару, а ярового ячменя – по люпину белому на зерно. При этом показатель уровня рентабельности производства продукции с повышением нормы внесения минеральных удобрений снижался, что связано с ростом производственных затрат.

Ключевые слова: урожайность, пшеница озимая, ячмень яровой, минеральные удобрения, севооборот, предшественники.

Для цитирования: Дудкина Т. А., Свиридов В. И. Повышение устойчивости зерновой продуктивности свекловичных севооборотов в лесостепи Центрального Черноземья // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 85–93. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-85-93.



SUSTAINABILITY IMPROVEMENT OF GRAIN PRODUCTIVITY OF BEET CROP ROTATIONS IN THE FOREST-STEPPE OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

T. A. Dudkina, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, dt5dt@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1116-4548;

V. I. Sviridov, Doctor of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for crop rotations and adaptive agrotechnologies, kafdgm@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0899-2350

FGBNU "Federal Agricultural Kursk Research Center",
305021; Kursk, st. Karl Marx, 70b, e-mail: kurskfarc@mail.ru

The purpose of the current study was to identify the effect of various crop rotations and rates of application of mineral fertilizers on productivity of winter wheat and spring barley, the productivity of crop rotations and the economic efficiency of cultivating crops. The study was carried out in a stationary field trial of the FSBSI "Kursk FARC" on typical heavy loamy blackearth (chernozem) in 2015–2023. Agricultural crops were grown in three crop rotations: 1 – grain-row fallow (black fallow, winter wheat, sugar beets, maize for silage, barley); 2 – grain-row green manure fallow (green manure fallow, winter wheat, sugar beets, maize for silage, barley); 3 – crop rotation (horse-bean for grain, winter wheat, sugar beets, white lupine for grain, barley). During the trial there have been compared two contrasting levels of mineral fertilizer application $N_{30}P_{30}K_{30}$ and $N_{52}P_{52}K_{52}$ per hectare of crop rotation area. The non-marketable portion of the harvest of all crops was used as fertilizer. Agricultural technology was generally conventional for the area. There has been established that, under all weather conditions, the highest yield of winter wheat at a low background of fertilization ($N_{30}P_{30}K_{30}$ per hectare of crop rotation area) is produced in green manure fallow, and at a high background of fertilization ($N_{52}P_{52}K_{52}$ per hectare of crop rotation area) in black fallow. There was found that the most favorable conditions for cultivating barley were created when cultivating with white lupine for grain. Fertilization increase led to productivity increase of the grain crops, but, at the same time, to a production profitability decrease. There has been determined that productivity of crop rotations with fallow forecrops is 14 % higher compared to crop rotations

with a legume forecrop (horse-bean for grain). According to calculations, on average over the years of study, the most profitable was the winter wheat cultivation in black fallow, and spring barley cultivation in white lupine for grain. At the same time, the indicator of production profitability level decreased with an increase in the rate of mineral fertilizing, which results in production costs' increase.

Keywords: productivity, winter wheat, spring barley, mineral fertilizers, crop rotation, forecrops.

Введение. Устойчивое развитие сельскохозяйственного производства является составной частью реализации Программы устойчивого развития человеческого общества, принятой на Международной конференции ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 г. с участием правительств практически всех стран мира (URL: <https://www.un.org/ru/conferences/environment/rio1992>). Устойчивость необходима и при увеличении производства зерна в соответствии с Долгосрочной стратегией развития зернового комплекса Российской Федерации (URL: <http://docs.cntd.ru/document/560974985>). Объективно имеется два фактора, определяющих нестабильность урожайности зерновых культур. Первый из них – отклонение погодных условий от климатической нормы. Второй связан со снижением плодородия почвы из-за несоблюдения закона возврата (Акименко и др., 2022).

В Центрально-Черноземном регионе наибольшая доля в структуре зернового клина принадлежит озимой пшенице и яровому ячменю, устойчивости которых к стрессу, вызванному абиогенными факторами, пристальное внимание уделяется в зарубежных исследованиях (Macholdt et al., 2021; Slafer and Savin, 2023). Эти культуры хорошо откликаются на применение минеральных удобрений в сочетании с другими приемами повышения урожайности (Новичихин и Чайкин, 2022; Акименко и др., 2021; Дериглазова и др., 2023; Дубовик и др., 2019). Однако публикации, содержащие оценку факторов устойчивости урожайности этих культур, практически отсутствуют. Следует отметить, что возможность достижения устойчивой зерновой продуктивности ограничена в расположенных вблизи сахарных заводов специализированных свекловичных севооборотах, в которых высокая доля сахарной свеклы (20–25 %) затрудняет оптимизацию состава и размещения зерновых культур.

Целью исследований являлось изучение влияния различных севооборотов и норм внесения минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя, продуктивность севооборотов и экономическую эффективность возделывания сельскохозяйственных культур. Для ее достижения решались задачи: сопоставить урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя по разным предшественникам и уровням удобрений в севооборотах при различных погодных условиях; определить общую и зерновую продуктивность севооборотов в зависимости от чередования культур, уровня удобренности и погодных условий; дать оценку экономической эффективности вариантов возделывания озимой пшеницы и ячменя.

Материалы и методы исследований.

Исследования выполнены путем анализа экспериментального материала, полученного в стационарном опыте, заложенном в пространстве и времени всеми полями (вариантами) одновременно на черноземе типичном тяжелосуглинистом. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка по слоям 0–20 и 20–40 см следующая: содержание гумуса по Тюрину – 5,28 и 4,94 %; pH_{KCl} – 6,35 и 6,70 ед.; гидролитическая кислотность Нг – 3,54 и 3,06 мг-экв./100 г; сумма поглощенных оснований – 30,0 и 31,4 мг-экв./100 г; азот щелочногидролизующий (по Корнфилду в модификации ЦИНАО) – 18,6 и 17,4 мг-экв./100 г; фосфор подвижный (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – 100,9 и 94,9 мг/кг, калий подвижный (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – 91,1 и 85,5 мг/кг соответственно.

Опытный участок находится на склоне северной экспозиции крутизной до 3°. Расположение вариантов систематическое в трехкратной повторности. Общая площадь делянок 202,5 м² (8,1 м x 25,0 м), учетная площадка варьировала в зависимости от уборочной техники.

Схемы севооборотов (фактор А) следующие: I (зернопаропропашной) – 1) черный пар, 2) озимая пшеница, 3) сахарная свекла, 4) кукуруза на силос, 5) ячмень; II (зернопаропропашной сидеральный) – 1) сидеральный пар (люпин белый в начале цветения), 2) озимая пшеница, 3) сахарная свекла, 4) кукуруза на силос, 5) ячмень; III (плодосменный) – 1) конские бобы на зерно, 2) озимая пшеница, 3) сахарная свекла, 4) люпин белый на зерно, 5) ячмень.

При выполнении настоящей работы сопоставлены два контрастных в опыте уровня удобренности – $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{52}P_{52}K_{52}$ кг д.в. на гектар севооборотной площади. Минеральные удобрения вносили разбросным способом под основную обработку непосредственно под озимую пшеницу и сахарную свеклу соответственно $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$ кг д.в./га при низком уровне удобренности и $N_{100}P_{100}K_{100}$ и $N_{160}P_{160}K_{160}$ кг д.в./га – при высоком уровне удобренности. Нетоварная часть урожая всех культур использовалась в качестве удобрения.

Минеральные удобрения (фактор В) непосредственно под ячмень не вносили, так как эта культура хорошо отзывается урожайностью на последствие удобрений, возрастающее по мере повышения уровня удобрений в севообороте (Куницын и Минакова, 2021).

Агротехника в опыте общепринятая для зоны. После зерновых, свеклы и кукурузы проводили вспашку. После конских бобов и для заделки в почву сидеральной массы применяли двукратную обработку тяжелыми дисковыми боронами.

Все расчеты выполняли в соответствии с методикой (Методика экономических исследований в агропромышленном комплексе, 1995). Оценка экономической эффективности озимой пшеницы и ярового ячменя проведена на основании отчетов об отраслевых показателях деятельности организаций агропромышленного комплекса Курской области в среднем за 2020–2022 годы. Учтены затраты, непосредственно связанные с получением урожая и относимые на себестоимость продукции: семена, оплата труда, нефтепродукты, средства защиты растений, удобрения, амортизация, накладные расходы.

Метеорологические условия в годы исследований сильно варьировали. Первоочередное значение для озимой пшеницы имели возможность получения своевременных всходов и важная для последующего развития культуры

продолжительность периода от всходов до прекращения осенней вегетации. На урожайности ячменя отрицательно сказалось сокращение вегетативной стадии развития по причине получения поздних всходов при холодной весне и быстрого нарастания суммы температур, особенно при недостатке осадков, во второй половине (после колошения) периода вегетации.

Результаты и их обсуждение. Абсолютная величина урожайности, независимо от уровня удобренности в севообороте, решающим образом зависела от погодных условий. В благоприятные годы по сравнению с неблагоприятными годами урожайность ячменя была выше в 1,4 раза, а озимой пшеницы – в 1,7 раза после конских бобов на зерно, в 1,4–1,5 раза – после черного пара и в 1,4 раза – после сидерального пара (табл. 1).

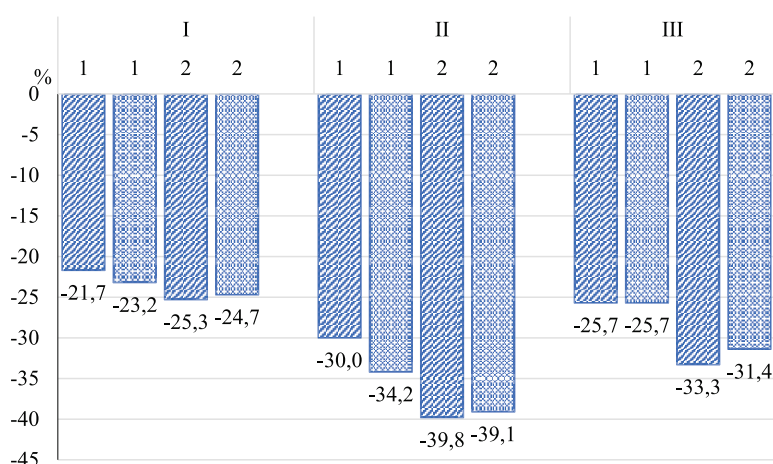
Таблица 1. Урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от предшественников и уровня удобренности при неодинаковых погодных условиях, т/га
Table 1. Productivity of winter wheat and spring barley depending on forecrops and fertilization level under different weather conditions, t/ha

Предшественники (А)	Дозы удобрений на 1 га севооборота, кг д.в. (В)	Группы лет по погодным условиям*			
		I 2016, 2020, 2023	II 2015, 2019	III 2017, 2018, 2021, 2022	Среднее за 2015–2023 гг.
Озимая пшеница					
Пар черный	$N_{30}P_{30}K_{30}$	5,54	3,68	5,40	5,06
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	6,49	4,70	6,49	6,09
Пар сидеральный	$N_{30}P_{30}K_{30}$	5,65	3,92	5,40	5,15
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	6,44	4,65	6,31	5,98
Конские бобы					
на зерно	$N_{30}P_{30}K_{30}$	4,34	2,58	4,01	3,80
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	4,85	2,83	4,33	4,17
Среднее	$N_{30}P_{30}K_{30}$	5,18	3,39	4,94	4,67
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	5,93	4,06	5,71	5,41
НСП ₀₅ , т/га	A	0,47	0,36	0,41	—
	B	0,37	0,31	0,34	—
	AB	0,63	0,52	0,48	—
Ячмень					
Кукуруза на силос	$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,72	3,99	3,57	3,38
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	2,96	4,28	3,97	3,70
Люпин белый на зерно	$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,96	4,28	3,92	3,65
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	3,20	4,55	4,47	4,06
Среднее	$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,84	4,14	3,75	3,52
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	3,08	4,42	4,22	3,88
НСП ₀₅ , т/га	A	0,21	0,18	0,26	—
	B	0,19	0,22	0,31	—
	AB	0,24	0,23	0,34	—

Примечание. * – Погодные условия: I – благоприятные для пшеницы и неблагоприятные для ячменя; II – неблагоприятные для пшеницы и благоприятные для ячменя; III – близкие к климатической норме.

Различия в урожайности озимой пшеницы были связаны с возможностью получения дружных и своевременных всходов, особенно после предшественника «конские бобы на зерно». В целом бобовые предшественники оказывают положительное влияние на последующие культуры, в том числе и на озимую пшеницу (Dudkina and Dolgopolova, 2015; Raya-Sereno et al., 2023).

Однако в условиях лесостепи Центрального Черноземья снижение ее урожайности после конских бобов по сравнению с лучшими предшественниками даже в благоприятные годы было в пределах 22–25 %. При неблагоприятных же условиях урожайность озимой пшеницы сокращалась в 1,4–1,6 раза, что наглядно демонстрирует рисунок.



I, II и III – соответственно благоприятные, неблагоприятные и близкие к климатической норме погодные условия;

1 и 2 – внесено на 1 га севооборота кг д.в. соответственно $N_{30}P_{30}K_{30}$ и $N_{52}P_{52}K_{52}$

Снижение урожайности озимой пшеницы после бобов конских на зерно относительно размещения ее после черного  и сидерального  паров в зависимости от погодных условий и доз минеральных удобрений, %

Decrease of winter wheat productivity after horse-bean for grain relative to its placement after black  and green  manure fallows, depending on weather conditions and doses of mineral fertilizers, %

Лучшим предшественником ячменя был люпин белый на зерно, после которого прибавка урожайности в среднем за период исследований по сравнению с размещением его после кукурузы на силос на наименьшем и наибольшем фонах удобрения составила соответственно 0,27 и 0,45 т/га, или 8,0 и 12,2 %. Эта культура по сравнению с озимой пшени-

цей в меньшей степени откликалась на уровень удобрения в зависимости от погоды при определяющем влиянии последней на абсолютную величину урожайности.

Различия в урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя отразились на зерновой продуктивности всех севооборотов в неодинаковые по метеорологическим условиям годы (табл. 2).

Таблица 2. Продуктивность севооборотов в зависимости от чередования культур, уровня удобрения и погодных условий

Table 2. Productivity of crop rotations depending on crop rotation, fertilization level and weather conditions

Сбор с 1 га севооборота	Дозы удобрений на 1 га севооборота, кг д.в.	Группы лет по погодным условиям*			
		I 2016, 2020, 2023	II 2015, 2019	III 2017, 2018, 2021, 2022	Среднее за 2015–2023 гг.
Пар черный, озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза на силос, ячмень					
Зерна, т	$N_{30}P_{30}K_{30}$	1,65	1,53	1,79	1,69
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	1,89	1,80	2,09	1,96
Обменной энергии, ГДж	$N_{30}P_{30}K_{30}$	65,8	63,3	66,1	65,7
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	73,4	70,8	76,2	73,5
Переваримого протеина, кг	$N_{30}P_{30}K_{30}$	390,2	372,9	398,9	396,7
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	437,8	420,5	460,5	442,1
Пар сидеральный, озимая пшеница, сахарная свекла, кукуруза на силос, ячмень					
Зерна, т	$N_{30}P_{30}K_{30}$	1,67	1,58	1,79	1,71
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	1,88	1,79	2,06	1,94
Обменной энергии, ГДж	$N_{30}P_{30}K_{30}$	66,0	64,1	66,7	65,3
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	73,3	71,0	76,8	73,9
Переваримого протеина, кг	$N_{30}P_{30}K_{30}$	392,4	379,4	398,9	402,1
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	436,7	425,9	457,2	443,2
Конские бобы на зерно, озимая пшеница, сахарная свекла, люпин белый на зерно, ячмень					
Зерна, т	$N_{30}P_{30}K_{30}$	2,40	2,23	2,55	2,41
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	2,60	2,40	2,78	2,62
Обменной энергии, ГДж	$N_{30}P_{30}K_{30}$	56,4	53,0	57,2	56,4
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	62,0	58,3	63,5	63,1
Переваримого протеина, кг	$N_{30}P_{30}K_{30}$	483,2	448,6	497,3	476,7
	$N_{52}P_{52}K_{52}$	524,3	489,7	543,7	522,0

Примечание. * – Погодные условия: I – благоприятные для пшеницы и неблагоприятные для ячменя; II – неблагоприятные для пшеницы и благоприятные для ячменя; III – близкие к климатической норме.

Наибольший сбор зерна получен в близкие к климатической норме годы, и был на 14–17 % больше, чем в неблагоприятные годы для озимой пшеницы. В близких к климатической норме условиях отмечена и наибольшая прибавка от увеличения нормы удобрений.

В севообороте, насыщенном зернобобовыми культурами на 40 %, зерновая продуктивность оказалась в 1,4 раза выше, чем в зернопаропропашном и сидеральном севооборотах, при том, что доля зерновых (вместе с бобовыми) в 2 раза больше. Не соответствующий увеличению площади прирост в сборе зерна объясняется меньшей урожайностью озимой пшеницы после конских бобов на зерно и сравнительно низкой урожайностью зернобобовых. Вместе с тем, сбор переваримого протеина в этом севообороте во все годы и на обоих уровнях удобрений был больше в 1,2 раза.

На общей продуктивности севооборотов погодные условия практически не отразились – различия не превысили 4 %. Прибавка в выходе обменной энергии (энергетический эквивалент кормовых единиц) была в пределах 9–11 %.

Судя по сбору зерна и содержанию в урожае переваримого протеина, наибольшая эффективность от повышения дозы минеральных удобрений на 1 га севооборотной площади была в зернопаропропашном севообороте с черным

паром. Увеличение этих показателей произошло соответственно на 13,8 и 11,4 %. Несколько уступал первому севообороту по рассматриваемым показателям зернопаропропашной севооборот с сидеральным паром – 13,4 и 10,2 % соответственно. Самая низкая прибавка сбора зерна и переваримого протеина от увеличения дозы минеральных удобрений отмечена в плодосменном севообороте – 8,7 и 9,5 %. Полученные закономерности в значительной степени связаны с различиями в урожайности сельскохозяйственных культур в разных севооборотах.

Если судить по показателю обменной энергии, то преимущество по эффекту от увеличения уровня удобренности имел севооборот с сидеральным паром – 13,2 %. В двух других севооборотах этот показатель был одинаковым – 11,9 %.

Стоимость произведенной продукции находится в зависимости от урожая сельскохозяйственных культур. Этот показатель при выращивании озимой пшеницы в опыте в среднем за годы исследований был выше при ее следовании в севообороте по черному и сидеральному парам. В вариантах, где предшественником озимой пшеницы были конские бобы на зерно, стоимость продукции снижалась в 1,3–1,5 раза (табл. 3).

Таблица 3. Экономическая эффективность выращивания озимой пшеницы в зависимости от предшественников и уровня удобренности при неодинаковых погодных условиях (в расчете на 1 га в год)
Table 3. Economic efficiency of winter wheat growing depending on forecrops and fertilization level under different weather conditions (per 1 hectare per year)

Показатель	Предшественник	Дозы удобрений на 1 га севооборота, кг д.в.	Группы лет по погодным условиям*			
			I 2016, 2020, 2023	II 2015, 2019	III 2017, 2018, 2021, 2022	Среднее за 2015–2023 гг.
Стоимость продукции, тыс. руб.	Пар черный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	71,9	47,8	70,1	65,7
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	84,2	61,0	84,2	79,0
	Пар сидеральный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	73,3	50,9	70,1	66,8
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	83,6	60,4	81,9	77,6
	Конские бобы на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	56,3	33,5	52,0	49,3
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	63,0	36,7	56,2	54,1
Затраты на производство продукции, тыс. руб.	Пар черный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	31,6	21,5	30,8	29,0
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	37,8	28,1	37,8	35,7
	Пар сидеральный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	39,3	29,6	37,8	38,4
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	44,8	34,7	44,0	42,2
	Конские бобы на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	25,1	15,5	23,3	22,1
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	28,9	18,0	26,1	25,2
Чистый доход, тыс. руб.	Пар черный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	40,3	26,3	39,3	36,7
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	46,4	32,9	46,4	43,3
	Пар сидеральный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	34,0	21,3	32,3	28,4
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	38,8	25,7	37,9	35,4
	Конские бобы на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	31,2	18,0	28,7	27,2
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	34,1	18,7	30,1	28,9
Уровень рентабельности производства продукции, %	Пар черный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	127,5	122,3	127,6	126,6
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	122,8	117,1	122,8	121,3
	Пар сидеральный	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	86,5	72,0	85,4	74,0
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	86,6	74,1	86,1	83,9
	Конские бобы на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	124,3	116,1	123,2	123,1
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	118,0	103,9	115,3	114,7

Примечание. * – Погодные условия: I – благоприятные; II – неблагоприятные; III – близкие к климатической норме.

При повышении уровня удобренности некоторое преимущество по рассматриваемому показателю получал севооборот с черным паром, в то время как при более низкой норме внесения минеральных удобрений стоимость произведенной продукции была выше в севообороте с сидеральным паром. В благоприятные по погодным условиям годы по сравнению с неблагоприятными стоимость произведенного зерна озимой пшеницы по паровым предшественникам возрастала в 1,4–1,6 раза, а по непаровому предшественнику – в 1,7 раза.

Затраты на производство зерна озимой пшеницы наибольшими были при ее выращивании по сидеральному пару, а наименьшими – по конским бобам на зерно.

При всех погодных условиях и в среднем за исследуемый период лучшие показатели чистого дохода и уровня рентабельности от производства зерна озимой пшеницы были получены при ее выращивании по черному пару. При замене черного пара сидеральным в среднем за годы исследований чистый доход сни-

жался на низком фоне удобренности на 21,8 %, на высоком фоне – на 18,2 %; а уровень рентабельности – на 41,5 и 29,9 % соответственно. При выращивании озимой пшеницы по непаровому предшественнику (конским бобам на зерно) чистый доход был ниже, чем по черному и сидеральному парам, при низком уровне удобренности соответственно на 9,5 и 1,2 тыс. руб. в расчете на 1 га в год, а при высоком уровне удобренности – на 14,4 и 6,5 тыс. руб. соответственно. Рентабельность производства озимой пшеницы в плодосменном севообороте была выше, чем в севообороте с сидеральным паром, но ниже, чем в севообороте с черным паром. В благоприятные и близкие к климатической норме годы чистый доход и рентабельность повышались по сравнению с неблагоприятными по погодным условиям годами.

В среднем за годы исследований стоимость зерна ячменя была выше, когда эта культура возделывалась по люпину белому на зерно (табл. 4).

Таблица 4. Экономическая эффективность выращивания ячменя в зависимости от предшественников и уровня удобренности при неодинаковых погодных условиях (в расчете на 1 га в год)
Table 4. Economic efficiency of barley growing depending on forecrops and fertilization level under different weather conditions (per 1 hectare per year)

Показатель	Предшественник	Дозы удобрений на 1 га севооборота, кг д.в.	Группы лет по погодным условиям*			
			I 2016, 2020, 2023	II 2015, 2019	III 2017, 2018, 2021, 2022	Среднее за 2015–2023 гг.
Стоимость продукции, тыс. руб.	Кукуруза на силос	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	35,4	51,9	46,4	43,9
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	38,5	55,6	51,6	48,1
	Люпин белый на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	35,4	55,6	51,0	47,4
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	41,6	59,2	58,1	52,8
Затраты на производство продукции, тыс. руб.	Кукуруза на силос	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	18,7	26,7	24,1	22,9
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	21,3	29,6	27,7	26,0
	Люпин белый на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	20,2	28,5	29,3	24,6
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	22,8	31,4	30,8	28,3
Чистый доход, тыс. руб.	Кукуруза на силос	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	16,7	25,2	22,3	21,0
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	17,2	26,0	23,9	22,1
	Люпин белый на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	15,2	27,1	21,7	22,8
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	18,8	27,8	27,3	24,5
Уровень рентабельности производства продукции, %	Кукуруза на силос	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	92,8	94,4	92,5	91,7
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	80,8	87,8	86,3	85,0
	Люпин белый на зерно	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	75,2	95,1	74,1	92,7
		N ₅₂ P ₅₂ K ₅₂	82,5	88,5	88,6	86,6

Примечание. * – Погодные условия: I – неблагоприятные; II – благоприятные; III – близкие к климатической норме.

Этот предшественник имеет преимущество перед кукурузой на силос, поскольку повышает обеспеченность почвы азотом. Данная закономерность проявилась во все группы лет, различающиеся по погодным условиям. Увеличение уровня удобренности повышало стоимость произведенной продукции.

Рассматриваемый показатель значительно варьировал в зависимости от погодных условий года. В благоприятные годы стоимость произведенной продукции ячменя была выше,

чем в неблагоприятные: по кукурузе на силос – в 1,4 раза, а по люпину белому на зерно – в 1,5 раза.

Затраты на производство зерна ячменя были выше при выращивании этой культуры по люпину белому на зерно по сравнению с кукурузой на силос. Увеличение дозы минеральных удобрений вызывало увеличение затрат на производство продукции. В благоприятные годы рассматриваемый показатель повышался, что связано с ростом урожайности культуры.

В среднем за годы исследований чистый доход был выше при выращивании ярового ячменя в вариантах, где его предшественником был люпин белый на зерно и при увеличенной дозе минеральных удобрений. В благоприятные по погодным условиям годы, как показали наши исследования, чистый доход при возделывании ячменя был выше, чем в неблагоприятные годы, в 1,5 раза по кукурузе на силос и в 1,9 раза – при выращивании по люпину белому.

Сопоставление показателей эффективности выращивания ярового ячменя при разных погодных условиях свидетельствует о том, что в благоприятные по метеоусловиям годы, и в среднем за весь анализируемый период, более высокий уровень рентабельности производства зерна ячменя был получен при выращивании его по люпину белому на зерно.

Кукуруза на силос как предшественник ячменя имела преимущество по этому показателю лишь при низкой норме удобрений в неблагоприятные и близкие к климатической норме годы.

Так же как и при выращивании озимой пшеницы, повышение удобренности в большинстве случаев приводило к снижению уровня рентабельности производства зерна ячменя.

Выводы. Исследования показали, что урожайность озимой пшеницы и ячменя независимо от других исследуемых факторов определялась преимущественно сложившимися погодными условиями. В благоприятные годы по сравнению с неблагоприятными она возрастала в 1,4–1,7 раза. Лучшим предшественником озимой пшеницы при низком уровне удобренности был пар сидеральный, а на высоком фоне – пар черный. Значительно им уступал непаровой предшественник – конские бобы.

Во все годы, независимо от складывающихся погодных условий, и в среднем за период исследований лучшим предшественником ярового ячменя был люпин белый на зерно. Следует отметить, что в среднем по вариантам опыта урожайность озимой пшеницы была выше урожайности ярового ячменя в 1,4 раза.

При повышении нормы вносимых удобрений на 1 га севооборотной площади отмечался неуклонный рост урожайности этих культур. Различия в урожайности между фонами удобрений на озимой пшенице были выше по сравнению с ячменем, непосредственно под который минеральные удобрения не вносились.

Наибольшей зерновой продуктивностью (сбор зерна и переваримого протеина) в опыте выделялся плодосменный севооборот, что связано с большим числом полей зерновых культур (в плодосменном севообороте – 4 поля, в двух других – 2), но по другим показателям плодосменный севооборот уступал зернопаропропашному и сидеральному севооборотам.

Выход обменной энергии (энергетический эквивалент общей продуктивности севооборота) в зернопаропропашном севообороте с черным паром и зернопаропропашном севообороте с сидеральным паром был на 14 % больше, чем в плодосменном севообороте.

Самый высокий чистый доход при производстве зерна озимой пшеницы был получен при ее выращивании по черному пару. В сидеральном севообороте чистый доход при выращивании пшеницы снижался на 18–22 % по фонедам удобренности, а в плодосменном – на 26–33 %.

Наивысший уровень рентабельности производства зерна озимой пшеницы в опыте был достигнут при ее выращивании по черному пару – 121–126 %. Несколько ниже он был по конским бобам на зерно – 115–123 %. Наиболее низким этот показатель был при выращивании пшеницы по сидеральному пару – 74–84 %, что связано с расходами на выращивание и заделку в почву сидеральной культуры.

Уровень рентабельности снижался по мере повышения нормы внесения удобрений, что связано с соответствующим ростом затрат. Экономическая эффективность выращивания озимой пшеницы в благоприятные и в близкие к климатической норме годы была выше, чем в неблагоприятные годы.

В среднем за годы исследований чистый доход и уровень рентабельности производства зерна ячменя были выше при выращивании этой культуры по люпину белому на зерно по сравнению с кукурузой на силос: при высокой дозе удобрений – 21,0 и 22,8 тыс. руб., 91,7 и 92,7 % соответственно. Следует отметить, что чем более благоприятными были условия выращивания этой культуры, тем, как правило, меньше было преимущество люпина белого на зерно как предшественника и тем больше – кукурузы на силос. В нашем опыте на более удобренных вариантах чистый доход повышался, а рентабельность выращивания ячменя снижалась.

Библиографические ссылки

1. Акименко А. С., Свиридов В. И., Дудкина Т. А., Вавин В. Г. Зерновая продуктивность свекловичных севооборотов в зависимости от степени биологизации в условиях Центрального Черноземья // Земледелие. 2022. № 3. С. 12–18. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-3-12-16
2. Акименко А. С., Дудкин И. В., Логачев Ю. Б., Дудкина Т. А. Эффективность использования пашни в зависимости от сочетания удобрений в севооборотах // Земледелие. 2013. № 2. С. 10–12.
3. Дериглазова Г. М., Лазарев В. И., Минченко Ж. Н. Эффективность основных приемов и способов возделывания ярового ячменя в условиях ЦЧР // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 7. С. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_34
4. Дубовик Д. В., Сухановский Ю. П., Нитченко Л. Б., Прущик А. В. Оценка ожидаемой урожайности по данным краткосрочных полевых опытов // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 8. С. 5–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10801

5. Куницын Н.А., Минакова О.А. Последствие удобрений, применяемых в севообороте с сахарной свеклой, на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество зерновых культур в Центральном Черноземье // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 14–18. DOI: 10.31857/S250026272106003X
6. Методика экономических исследований в агропромышленном производстве / Под ред. В.Р. Боева. М.: ВНИЭСХ, 1995. 218 с.
7. Новичихин А.М., Чайкин В.В. Урожайность сортов ярового ячменя при различных уровнях минерального питания в сочетании со стимуляторами роста // Агрохимический вестник. 2022. № 3. С. 10–16. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-3-002
8. Официальный интернет-портал правовой информации [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/560974985> (дата обращения 10.12.23). http://pravo.gov.ru/?month=07&year=2022&weak_i=Y&ysclid=lwc8p57x5i436375320
9. Саммит Земли. Конференция Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД). Рио-де-Жанейро, Бразилия, 3–14 июня 1992 года [Электронный ресурс]. URL: <https://www.un.org/ru/conferences/environment/rio1992> (дата обращения 10.12.23).
10. Dudkina T.A., Dolgoplova N.V. The role of weather conditions in the formation of yield and quality of winter wheat grain in central Chernozem Region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness, WTTA 2021». 2022. Article number: 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012024
11. Slafer G.A., Savin R. Comparative performance of barley and wheat across a wide range of yielding conditions. Does barley outyield wheat consistently in low-yielding conditions? // European Journal of Agronomy. 2023. Vol. 143, Article number: 126689. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126689
12. Macholdt J.S., Hadasch H.-P., Piepho, Reckling M.A., Taghizadeh-Toosi, Christensen B.T. Yield variability trends of winter wheat and spring barley grown during 1932–2019 in the Askov Long-term Experiment // Field Crops Research. 2021. Vol. 264, Article number: 108083. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108083
13. Raya-Sereno M.D., Pancorbo J.L., Alonso-Ayuso M., Gabriel J.L., Quemada M. Winter wheat genotype ability to recover nitrogen supply by precedent crops under combined nitrogen and water scenarios // Field Crops Research. 2023. Vol. 290, Article number: 108758. DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108758

References

1. Akimenko A.S., Sviridov V.I., Dudkina T.A., Vavin V.G. Zernovaya produktivnost' svezlovichnykh sevooborotov v zavisimosti ot stepeni biologizatsii v usloviyakh Tsentral'nogo Chernozem'ya [Grain productivity of beet crop rotations depending on a biologization degree in the conditions of the Central Blackearth Region] // Zemledelie. 2022. № 3. S. 12–18. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-3-12-16
2. Akimenko A.S., Dudkin I.V., Logachev Yu. B., Dudkina T.A. Effektivnost' ispol'zovaniya pashni v zavisimosti ot sochetaniya udobrenii v sevooborotakh [Efficiency of arable land use depending on the combination of fertilizers in crop rotations] // Zemledelie. 2013. № 2. S. 10–12.
3. Deriglazova G.M., Lazarev V.I., Minchenko Zh. N. Effektivnost' osnovnykh priemov i sposobov vozdeystviya yarovogo yachmenya v usloviyakh TsChR [The effectiveness of the basic techniques and methods of cultivating spring barley in the conditions of the Central Black Sea Region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 7. S. 34–38. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_34
4. Dubovik D.V., Sukhanovskii Yu. P., Nitchenko L.B., Prushchik A.V. Otsenka ozhidaemoi urozhainosti po dannym kratkosrochnykh polevykh opytov [Estimation of the expected yield based on short-term field trials] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019. T. 33, № 8. S. 5–9. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10801
5. Kunitsin N.A., Minakova O.A. Posledeystvie udobrenii, primenyaemykh v sevooborote s sakharnoi svezkloi, na plodorodie chernozema vyshchelochennogo, urozhainost' i kachestvo zernovykh kul'tur v Tsentral'nom Chernozem'e [Aftereffect of fertilizers used in crop rotation with sugar beets on the fertility of leached black soil, productivity, and quality of grain crops in the Central Blackearth Region] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2021. № 6. S. 14–18. DOI: 10.31857/S250026272106003X
6. Metodika ekonomicheskikh issledovaniy v agropromyshlennom proizvodstve [Methodology of economic research in agro-industrial production] / Pod red. V.R. Boeva. M.: VNIESKh, 1995. 218 s.
7. Novichikhin A.M., Chaikin V.V. Urozhainost' sortov yarovogo yachmenya pri razlichnykh urovnyakh mineral'nogo pitaniya v sochetanii so stimulyatorami rosta [Productivity of spring barley varieties at different levels of mineral nutrition in combination with growth stimulants] // Agrokhimicheskii vestnik. 2022. № 3. S. 10–16. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-3-002
8. Oftsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. [Official Internet portal of legal information] www.pravo.gov.ru, 17.10.2022. N 0001202210170035 [Elektronnyi resurs]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/560974985> (data obrashcheniya 10.12.23).
9. Sammit Zemli. Konferentsiya Organizatsii Ob'edinennykh Natsii po okruzhayushchei srede i razvitiyu (YuNSED) [Earth Summit. United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)]. Rio-de-Zhaneiro, Braziliya, 3–14 iyunya 1992 goda. URL: <https://www.un.org/ru/conferences/environment/rio1992> (data obrashcheniya 10.12.23).
10. Dudkina T.A., Dolgoplova N.V. The role of weather conditions in the formation of yield and quality of winter wheat grain in central Chernozem Region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness, WTTA 2021». 2022. Article number: 012024. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012024
11. Slafer G.A., Savin R. Comparative performance of barley and wheat across a wide range of yielding conditions. Does barley outyield wheat consistently in low-yielding conditions? // European Journal of Agronomy. 2023. Vol. 143, Article number: 126689. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126689

12. Macholdt J.S., Hadasch H.-P., Piepho, Reckling M.A., Taghizadeh-Toosi, Christensen B.T. Yield variability trends of winter wheat and spring barley grown during 1932–2019 in the Askov Long-term Experiment // Field Crops Research. 2021. Vol. 264, Article number: 108083. DOI: 10.1016/j.fcr.2021.108083

13. Raya-Sereno M.D., Pancorbo J.L., Alonso-Ayuso M., Gabriel J.L., Quemada M. Winter wheat genotype ability to recover nitrogen supply by precedent crops under combined nitrogen and water scenarios // Field Crops Research. 2023. Vol. 290, Article number: 108758. DOI: 10.1016/j.fcr.2022.108758

Поступила: 13.03.24; доработана после рецензирования: 21.04.24; принята к публикации: 22.04.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Дудкина Т.А., Свиридов В.И. – концептуализация исследования, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ НОВЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ

Х. Ш. Тарчоков, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания полевых культур, ORCID ID: 0000-0002-6187-7354;

О. Х. Матаева, младший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания полевых культур, o-mataeva@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3590-5734;

Ф. Х. Бжинаев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания полевых культур, ORCID ID: 0000-0002-6255-0396;

Н. В. Бербекова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник группы кормовых трав, natali_26081976@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-7011-1545

Институт сельского хозяйства – филиал Федерального государственного

бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр

«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»,

360004, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, ул. Кирова, д. 224;

e-mail: ishkbncran@yandex.ru

Актуальность исследований продиктована тем, что в связи с глобальным потеплением на юге России существенно передвинулись сроки наступления жаркого периода, особенно в зонах рискованного земледелия. Посев в ранее рекомендованные научно обоснованные оптимальные сроки уже не гарантирует получения стабильных урожаев зерна кукурузы. Целью исследований являлось изучение влияния срока посева новых перспективных гибридов кукурузы собственной селекции на урожайность и элементы, составляющие структуру урожая, в условиях степной зоны Кабардино-Балкарии. Исследования проводили в 2019–2021 гг. в полевых опытах, которые закладывали на поле научно-производственного участка Института сельского хозяйства КБНЦ РАН. В целом в годы исследований метеорологические условия были типичными для условий степной зоны КБР. В результате исследований выявлено, что оптимальным сроком посева гибридов кукурузы была вторая декада апреля. При посеве в этот срок отмечено повышение продуктивности и повышение значений элементов продуктивности. Напротив, посев в третьей декаде отмечается снижением значений этих показателей у всех изучаемых образцов. При втором сроке посева наибольшее снижение урожайности отмечено у более позднеспелых гибридов Карат СВ, Терек и гибридной популяции Кабардинская 3812 – на 1,4; 1,5 и 1,8 т/га соответственно. Меньшее снижение отмечено у среднераннего гибрида Майский 260 МВ – на 0,7 т/га. При первом сроке посева число початков в расчете на 100 растений увеличилось на 4–11 шт. Початки были лучше озернены – превышение над вторым сроком составило 5–60 шт. Масса одного початка при первом сроке посева в среднем находилась в пределах 105–120 г, что выше аналогичного показателя при втором сроке на 9–22 г.

Ключевые слова: кукуруза, гибриды, урожайность, сроки посева, початок, зерно, густота стояния, полевая всхожесть.

Для цитирования: Тарчоков Х. Ш., Матаева О. Х., Бжинаев Ф. Х., Бербекова Н. В. Влияние сроков посева на продуктивность новых гибридов кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 94–99. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-94-99.



THE EFFECT OF SOWING TIME ON PRODUCTIVITY OF NEW MAIZE HYBRIDS

Kh. Sh. Tarchokov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivating technologies of field crops, ORCID ID: 0000-0002-6187-7354;

O. Kh. Mataeva, junior researcher of the laboratory for cultivating technologies of field crops, ORCID ID: 0000-0003-3590-5734; o-mataeva@mail.ru;

F. Kh. Bzhinaev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivating technologies of field crops, ORCID ID: 0000-0002-6255-0396;

N. V. Berbekova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the group for forage grasses, ORCID ID: 0000-0002-7011-1545; natali_26081976@mail.ru

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

"Kabardino-Balkary Research Center RAS",

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

The relevance of the current study is due to the fact that global warming in the south of Russia has significantly moved forward the onset of the hot period, especially in areas of risky farming. Sowing at the previously recommended scientifically based optimal time no longer guarantees stable yields of maize. Based on this, the purpose of the study was to determine the effect of the sowing time of new promising maize hybrids of our own breeding on productivity and yield structure elements in the steppe part of Kabardino-Balkaria. The study was carried out in field trials on the field of the research and production site of the Institute of Agriculture of the KBRC of the Russian Academy of Sciences in 2019–2021. In general, during the years of study, weather conditions were typical for the steppe area of the KBR. As a result, there was determined that the optimal sowing time for maize hybrids was the second decade of April. When sowing at this time, there was identified productivity improvement and an increase in the values of yield elements. On the contrary, sowing in the third decade has shown a decrease in the values of these indicators in all studied samples.

During the second sowing period, there was the greatest productivity decrease among the late-maturing hybrids 'Karat SV', 'Terek' and the hybrid population 'Kabardinskaya 3812' by 1.4; 1.5 and 1.8 t/ha, respectively. The middle-early hybrid 'Maisky 260 MV' has shown a smaller decrease by 0.7 t/ha. During the first sowing period, number of ears per 100 plants increased by 4–11 pieces. The ears were better grained with 5–60 pieces of the excess over the second period. The weight of one cob during the first sowing period ranged 105–120 g on average, which was 9–22 g more than the same indicator during the second sowing period.

Keywords: maize, hybrids, productivity, sowing time, ear, grain, stand density, field germination.

Введение. Кукуруза – одна из широко известных ценных кормовых культур. В мировом производстве зерна кукуруза уступает только пшенице и рису. По содержанию кормовых единиц в килограмме зерна кукуруза значительно превосходит остальные зерновые культуры и характеризуется высокой переваримостью (87–90 %). Зерно кукурузы богато клетчаткой, и за счет небольшого содержания крахмала и частиц зародыша переваримость его достаточно высока (Табаленкова и др., 2020). В среднем доля зерна в общем урожае кукурузного растения занимает 31–42 % (Ахияров и др., 2020).

Почвенно-климатические условия степной зоны Кабардино-Балкарии в целом благоприятны для возделывания основных полевых культур, в том числе и кукурузы (Блиев и Азубеков, 2017).

Однако, особенно в последние годы, в указанной зоне отмечаются такие неблагоприятные явления, как атмосферная засуха в сочетании с высокой температурой воздуха (более 40 °C) в период вегетации. Вследствие этого в почве наблюдается недостаток продуктивной влаги, что отрицательно влияет на формирование урожая сельскохозяйственных культур. Ранее рекомендованные оптимальные для данной культуры сроки посева (25 апреля – 10 мая) уже не соответствуют изменившимся климатическим условиям (Аппаев и др., 2022). Такая же тенденция отмечается в других регионах нашей страны. Так, за последние 30 лет сумма активных температур в Краснодарском крае повысилась на 12–15 % по сравнению со среднемноголетними значениями (Гончаров и Куликов, 2022).

Соблюдение оптимальных сроков посева является важнейшим условием формирования высокого и стабильного урожая (Ахияров и др., 2021; Овчинников, 2023). Посев в оптимальные сроки позволяет растению на начальном этапе вегетации развиваться в благоприятных условиях, что в конечном итоге влияет на уровень урожайности (Чувилина и Карабанова, 2020), снижает пораженность таким вредителем, как стеблевой мотылек (Пушня и др., 2023; Polyakov et al., 2021). Также ранние сроки посева кукурузы являются одним из надежных способов преодоления влияния высоких температур и недостатка влаги в летний период в степной зоне Кабардино-Балкарии.

Известно, что посев кукурузы в оптимальные сроки позволяет кукурузному растению сформировать крупные озерненные початки. Напротив, при поздних сроках посева, при которых опыление кукурузы и формирование початков попадают в период воздушной засухи

и недостатка влаги, приводят к образованию мелких и плохо озерненных початков с пониженной массой 1000 зерен.

На юге Российской Федерации, и в частности, в Кабардино-Балкарии, основным лимитирующим фактором для роста и развития кукурузного растения и получения стабильно высоких урожаев является влага. В Кабардино-Балкарии самые большие площади посевы кукурузы занимают в степных районах, которые считаются зоной рискованного земледелия. Недостаток влаги здесь оказывает влияние на растение кукурузы не только в летнее время года, но и в период посева и начала вегетации. Особенно это стало заметно в последние годы вследствие глобального потепления, которое способствует испарению незначительного количества выпадающих в осенне-зимне-весенние периоды осадков, что негативно отражается на процессе формирования продуктивности яровых сельскохозяйственных культур, в том числе и кукурузы (Tarchokov et al., 2021).

Кроме того, известно, что самый высокий урожай формируется при сочетании наибольшей индивидуальной продуктивности отдельного растения и густоты посева. Однако повышения урожая можно добиться увеличением числа растений лишь до определенного предела. Дальнейшее увеличение плотности стеблестоя приводит к обратной реакции: вследствие конкуренции между растениями увеличивается число бесплодных растений (Мингалиев, 2018; Zhang et al., 2019). Также при дефиците влаги происходит преждевременное прекращение вегетации, ускоренное созревание початков и, как следствие, происходит снижение урожая (Darby et al., 2006; Черкашина и Сотченко, 2019). Тем не менее, увеличение густоты стояния растений на гектаре является одним из самых простых возможностей повышения урожая. Разумеется, при изреженном посеве каждое растение имеет более высокую индивидуальную продуктивность, но при малом и недостаточном их количестве на единице площади происходит снижение общей урожайности (Кравченко и Зантария, 2023).

Цель исследования – изучить влияние сроков посева на продуктивность и элементы продуктивности новых перспективных гибридов кукурузы.

Ввиду этого разработка оптимальной технологии возделывания кукурузы, включающей в себя такие составляющие, как сроки посева, подбор и испытание новых сортов и гибридов для условий засушливых зон юга России, остается актуальным.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены на опытном поле

ИСХ КБНЦ РАН, расположенном в степной зоне Кабардино-Балкарской Республики. Объектом исследования являлись гибриды кукурузы селекции ИСХ КБНЦ РАН: среднеранний гибрид Майский 260 МВ, среднепоздние гибриды Терек и Карат СВ, позднеспелая гибридная популяция Кабардинская 3812.

Наблюдения, учеты и анализы проводили в соответствии с «Методикой полевого опыта» Б.А. Доспехов (2014). Полевые опыты были заложены на обыкновенных черноземах тяжелосуглинистого гранулометрического состава. В пахотном (0–20 см) слое содержалось: гумуса – 3,0–3,5 %; P_2O_5 – 15,6–28,7 мг/кг; K_2O – 200–300 мг/кг (по Мачигину), Ph – 6,8–7,2 единицы.

В проведенных исследованиях гибриды кукурузы были высеяны в два срока: начало второй декады апреля – при температуре почвы 8–10 °С и конец апреля – при устойчивом прогревании почвы до 10–12 °С. В 2019 г. датой первого (раннего) посева кукурузы было 12 апреля, в 2020 г. – 13 апреля, в 2021 г. – 15 апреля. Даты второго срока посева – 22, 25 и 28 апре-

ля соответственно. Общая площадь опытных делянок составляла 28,5 м², учетная – 14,0 м². Опыты были заложены в 4-кратной повторности.

При посеве было высеяно заданное количество семян из расчета 85,0 тыс. шт./га для среднераннего гибрида (Майский 260МВ), среднепоздних – 55,0 (Карат СВ и Терек) и 35,0 тыс. шт./га для позднеспелой гибридной популяции Кабардинская 3812.

В целом в годы исследований метеорологические условия не отличались существенно от среднесезонных и характеризовались недостатком влаги, почвенной и воздушной засухой в летний период.

Результаты и их обсуждение. В результате оценки отмечено, что полевая всхожесть у гибрида Терек при первом сроке посева была выше на 8,7 % чем при втором – 85,5 и 76,8 % соответственно (табл. 1). Густота стеблестоя кукурузы к уборке урожая зерна составляла 47,0 тыс. раст./га при первом сроке и 42,2 тыс. раст./га – при втором сроке.

Таблица 1. Показатели полевой всхожести и густоты стояния растений кукурузы при различных сроках посева (среднее за 2019–2021 гг.)
Table 1. Indicators of field germination and stand density of maize at different sowing time (average for 2019–2021)

Гибрид	Сроки посева	Полевая всхожесть, %		Густота стояния растений к уборке, тыс. раст./га
		всего	± 1-го срока	
Терек (ФАО – 450)	1	85,5	–	47,0
	2	76,8	-8,7	42,2
Майский 260 МВ (ФАО – 260)	1	88,0	–	74,8
	2	93,5	+5,5	79,5
Карат СВ (ФАО – 450)	1	79,8	–	67,8
	2	77,0	-2,8	65,5
Кабардинская 3812 (ФАО – 600)	1	87,0	–	30,5
	2	80,5	-6,5	28,2
НСР _{0,5}		4,5		5,4

Такая же тенденция отмечена и у гибридной популяции Кабардинская 3812. У гибрида Майский 260 МВ полевая всхожесть при втором сроке повысилась на 5,5 %, а у гибрида Карат СВ она незначительно (в пределах ошибки) снизилась.

Сроки посева оказали влияние и на количество озерненных початков – так, к уборке урожая на 100 растений сформировалось меньше початков (табл. 2).

Результаты исследований показали, что в среднем за три года при первом сроке посева на 100 растений было 114–120 початков, при втором – 106–115. Существенно снизилось число зерен в початке у всех гибридов

при посеве кукурузы в конце апреля (22–28.04). Отмечено, что при первом сроке посева в початке насчитывалось от 395 зерен (гибрид Карат СВ) до 509 зерен (гибридная популяция Кабардинская 3812), при втором – 360–490. Существенно значение этого показателя снизилось у гибридов Терек (– 60,0) и Майский 260МВ (–50,0). У гибрида Карат СВ и гибридной популяции Кабардинская 3812 снижение не превышало величины НСР.

Плохая озерненность початка сказалась и на его массе. Масса початка больше всего снизилась (22,0 г) у позднеспелой гибридной популяции Кабардинская 3812 при посеве в третьей декаде апреля.

Таблица 2. Влияние сроков посева на элементы структуры урожая (среднее за 2019–2021 гг.)
Table 2. Effect of sowing time on yield structure elements (mean in 2019–2021)

Гибрид	Срок посева	Количество початков на 100 растений, шт.		Зерен в початке, шт.		Масса початка		Масса 1000 зерен, г
		число	± от 1-го срока	число	± от 1-го срока	г	±от 1-го срока	
Терек (ФАО – 450)	1	114	–	420	–	105,0	–	270
	2	110	-4,0	360	-60,0	90,0	-15,0	230

Продолжение табл. 2

Гибрид	Срок посева	Количество початков на 100 растений, шт.		Зерен в початке, шт.		Масса початка		Масса 1000 зерен, г
		число	± от 1-го срока	число	± от 1-го срока	г	±от 1-го срока	
Майский 260 МВ (ФАО – 260)	1	117	–	470	–	110,0	–	210
	2	111	-6,0	420	-50,0	101,0	-9,0	190
Карат (ФАО – 450)	1	120	–	395	–	118,0	–	240
	2	115	-5,0	390	-5,0	105,0	-13,0	220
Кабардинская 3812 (ФАО – 600)	1	117	–	509	–	120,0	–	280
	2	106	-11	490	-19,0	98,0	-22,0	260
НСР _{0,5}			3,0		20,0		8,0	18,0

Масса 1000 зерен при посеве кукурузы в третьей декаде апреля снизилась у всех изучаемых гибридов кукурузы независимо от группы спелости.

Снижение значения показателей структуры урожая также отразилось и на формировании общей продуктивности (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность зерна кукурузы при различных сроках посева, т/га (среднее за 2019–2021 гг.)

Table 3. Maize grain productivity at different sowing time, t/ha (mean in 2019–2021)

Гибрид	Сроки посева	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее за 2019–2021 гг.	±от 1-го срока посева
Терек (ФАО – 450)	1	7,8	7,6	5,9	7,1	–
	2	7,3	5,0	4,8	5,6	-1,5
Майский 260 МВ (ФАО – 260)	1	7,6	8,0	6,4	7,4	–
	2	7,1	7,8	5,6	6,7	-0,7
Карат (ФАО – 450)	1	8,3	9,0	7,5	8,3	–
	2	6,9	8,1	5,9	6,9	-1,4
Кабардинская 3812 (ФАО – 600)	1	8,5	9,7	7,9	8,7	–
	2	7,0	7,0	6,9	6,9	-1,8
НСР _{0,5}		0,50	0,6	0,37	0,40	–

Снижение урожая зерна при втором сроке посева наблюдалось у всех гибридов. Так, у гибридов Терек и Карат СВ (ФАО-450) урожай снизился на 1,5 и 1,4 т/га соответственно. Среднеранний гибрид Майский 260 МВ показал меньшее снижение урожайности (0,7 т/га) по сравнению с более позднеспелыми гибридами, что можно объяснить влиянием осенне-зимних запасов влаги. Урожай зерна этого гибрида при первом сроке посева составил 7,4 т/га, при втором – 6,7 т/га. Больше всего продуктивность снизилась (на 1,8 т/га) у позднеспелой гибридной популяции Кабардинская 3812 – при первом сроке она составила 8,7 т/га, при втором – 6,9 т/га.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Получение стабильно высокого урожая зерна кукурузы по годам в степной зоне республики возможно при посеве во второй декаде апреля. В условиях степной зоны при раннем посеве (вторая декаде апреля) урожайность новых гибридов кукурузы всех групп спелости существенно выше, чем при посеве в третьей декаде, – превышение урожайности составило от 0,7 до 1,8 т/га.

2. При раннем посеве увеличилось количество початков в расчете на 100 растений (на 4–11 шт.), початки имеют большее количество зерен (на 5–60 шт.) при большей их массе (на 9–22 г).

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. Ахияров Б.Г., Сотченко Б.Н., Абдулвалеев Р.Р., Валитов А.В., Ахиярова Л.М. Формирование урожая гибридов кукурузы в условиях Республики Башкортостан // Пермский аграрный вестник. 2020. № 1(29). С. 28–37. DOI 10.24411/2307-2873-2020-10011
3. Ахияров Б.Г., Хайбуллин М.М., Абдулвалеев Р.Р., Валитов А.В., Ахиярова Л.М. Урожайность зерна и зеленой массы гибридов кукурузы в зависимости от густоты стояния растений и сроков посева // Пермский аграрный вестник. 2021. № 4(36). С. 23–29. DOI: 10.47737/2307-2873_2021_36_23
4. Блиев С.Г., Азубеков Л.Х. Экологические и технологические основы семеноводства сортовых и гибридных семян кукурузы в богарных условиях КБР // Труды Кубанского ГАУ. 2017. № 66. С. 46–49. DOI: 10.21515/1999-1703-66-46-49
5. Гончаров С.В., Куликов Р.Н., Глобальные вызовы для отечественной селекции // Труды Кубанского ГАУ. 2022. № 97. С. 58–65. DOI: 10.21515/1999-1703-97-58-65

6. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
7. Кравченко Р.В., Зантария А.М. Особенности формирования структуры урожая среднеранних гибридов кукурузы в условиях степного агроландшафта // Труды Кубанского ГАУ. 2023. № 107. С. 97–102. DOI: 10.21515/1999-1703-107-97-102
8. Мингалева, С.К. Влияние густоты стояния, срока посева и приемов ухода на продуктивность гибридов кукурузы в условиях Среднего Урала // Аграрный вестник Урала. 2018. № 5. С. 38–43.
9. Овчинников, П.Ю. Реакция различных по скороспелости гибридов кукурузы на сроки посева в условиях Среднего Урала // Вестник КрасГАУ. 2023. № 7. С. 66–76.
10. Пушня М.В., Кремнева О.Ю., Пономарев А.В., Нестерова А.Ю., Снесарева Е.Г., Иванисова М.В. Влияние способов обработки почвы на развитие насекомых-фитофагов и энтомофагов при возделывании сельскохозяйственных культур // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 5. С. 51–57.
11. Табаленкова Г.Н., Дымова О.В., Головки Т.К. Продуктивность и состав биомассы кукурузы в условиях центрального агроклиматического района Республики Коми // Аграрный вестник Урала. 2020. № 03(194). С. 57–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65
12. Черкашина А.В., Сотченко Е.Ф. Влияние сроков и густоты посева на урожайность и уборочную влажность зерна кукурузы в неорошаемых условиях степной зоны Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4(20). С. 133–143. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-133-143
13. Чувилина В.А., Карабанова С.А. Влияние сроков посева кукурузо-вики-овсяного фитоценоза на продуктивность и качество кормовой массы в условиях Сахалина // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 10(64). Ч. 3. DOI: 10.23670/IRJ.2017.64.060
14. Darby H., Lauer J. Critical Stages in the Life of a Corn Plant // Plant Physiology. 2013. P. 15–20.
15. Polyakov V.I., Karpuk L.M., Prymak I.D., Pavlichenko A.A., Karaulna V.M., Yezerkovksa L.V., Kulyk R.M., Shokh S.S. // Ukrainian Journal of Ecology. 2021. Vol. 11(1), P. 32–37. DOI: 10.15421/2020_305
16. Tarchakov K., 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
17. Zhang X.P., Cheng J.L., Wang B., Yan P., Dai H.C., Chen Y.Q., Sui P. Optimum Sowing Dates for High-Yield Maize when Grown as Sole Crop in the North China Plain // Agronomy. 2019. Vol. 9, Iss. 4. DOI: 10.3390/agronomy9040198

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 the 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. Akhiyarov B.G., Sotchenko B.N., Abdulvaleev R.R., Valitov A.V., Akhiyarova L.M. Formirovaniye urozhaya gibridov kukuruzy v usloviyakh Respubliki Bashkortostan [Formation of maize hybrids' productivity in the Republic of Bashkortostan] // Permskii agrarnyi vestnik. 2020. № 1(29). S. 28–37. DOI 10.24411/2307-2873-2020-10011
3. Akhiyarov B.G., Khaibullin M.M., Abdulvaleev R.R., Valitov A.V., Akhiyarova L.M. Urozhainost' zerna i zelenoi massy gibridov kukuruzy v zavisimosti ot gustomy stoyaniya rasteniy i srokov poseva [Productivity of grain and green mass of maize hybrids depending on the plant density and sowing time] // Permskii agrarnyi vestnik. 2021. № 4(36). S. 23–29. DOI: 10.47737/2307-2873_2021_36_23
4. Bliev S.G., Azubekov L. Kh. Ekologicheskie i tekhnologicheskie osnovy semenovodstva sortovykh i gibridnykh semyan kukuruzy v bogarnykh usloviyakh KBR [Ecological and technological foundations of seed production of varietal and hybrid maize seeds in rainfed conditions in the KBR] // Trudy Kubanskogo GAU. 2017. № 66. S. 46–49. DOI: 10.21515/1999-1703-66-46-49
5. Goncharov S.V., Kulikov R.N., Global'nye vyzovy dlya otechestvennoi selektsii [Global challenges for domestic breeding] // Trudy Kubanskogo GAU. 2022. № 97. S. 58–65. DOI: 10.21515/1999-1703-97-58-65
6. Dospekhov, B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. Izd. 5-e., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
7. Kravchenko R.V., Zantariya A.M. Osobennosti formirovaniya struktury urozhaya srednerannikh gibridov kukuruzy v usloviyakh stepnogo agrolandschafta [Features of yield structure formation of middle-early maize hybrids in the steppe argolandscape] // Trudy Kubanskogo GAU. 2023. № 107. S. 97–102. DOI: 10.21515/1999-1703-107-97-102
8. Mingalev, S.K. Vliyaniye gustomy stoyaniya, sroka poseva i priemov ukhoda na produktivnost' gibridov kukuruzy v usloviyakh Srednego Urala [The effect of stand density, sowing time and cultivation methods on productivity of maize hybrids in the Middle Urals] // Agrarnyi vestnik Urala. 2018. № 5. S. 38–43.
9. Ovchinnikov P.Yu. Reaktsiya razlichnykh po skorospelosti gibridov kukuruzy na sroki poseva v usloviyakh Srednego Urala [Reaction of maize hybrids of different early maturity to sowing time in the Middle Urals] // Vestnik KrasGAU. 2023. № 7. S. 66–76.
10. Pushnya M.V., Kremneva O.Yu., Ponomarev A.V., Nesterova A.Yu., Snesareva E.G., Ivanisova M.V. Vliyaniye sposobov obrabotki pochvy na razvitiye nasekomykh-fito-fagov i entomofagov pri vozdel'yvaniy sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [The effect of soil cultivation methods on the development of phytophagous and entomophagous insects during cultivation of agricultural crops] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 5. S. 51–57.
11. Tabalenkova G.N., Dymova O.V., Golovko T.K. Produktivnost' i sostav biomassy kukuruzy v usloviyakh tsentral'nogo agroklimaticheskogo raiona Respubliki Komi [Productivity and composition

of maize biomass in the central agroclimatic region of the Komi Republic] // Agrarnyi vestnik Urala. 2020. № 03(194). S. 57–65. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-194-3-57-65

12. Cherkashina A.V., Sotchenko E.F. Vliyanie srokov i gustoty poseva na urozhainost' i uborochnuyu vlazhnost' zerna kukuruzy v neoroshayemykh usloviyakh stepnoi zony Kryma [The effect of sowing time and density on productivity and harvest moisture content of maize in non-irrigated steppe areas of Crimea] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2019. № 4(20). S. 133–143. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-133-143

13. Chuvilina V.A., Karabanova S.A. Vliyanie srokov poseva kukuruzyo-viko-ovsyannogo fitotsenoz na produktivnost' i kachestvo kormovoi massy v usloviyakh Sakhalina [The influence of sowing time of maize-vetch-oat phytocenosis on productivity and quality of forage mass in Sakhalin area] // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2017. № 10(64). Ch. 3. DOI: 10.23670/IRJ.2017.64.060

14. Darby H., Lauer J. Critical Stages in the Life of a Corn Plant // Plant Physiology. 2013. P. 15–20.

15. Polyakov V.I., Karpuk L.M., Prymak I.D., Pavlichenko A.A., Karaulna V.M., Yezerkovksa L.V., Kulyk R.M., Shokh S.S. // Ukrainian Journal of Ecology. 2021. Vol. 11(1), P. 32–37. DOI: 10.15421/2020_305

16. Tarchakov K., 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

17. Zhang X.P., Cheng J.L., Wang B., Yan P., Dai H.C., Chen Y.Q., Sui P. Optimum Sowing Dates for High-Yield Maize when Grown as Sole Crop in the North China Plain // Agronomy. 2019. Vol. 9, Iss. 4. DOI: 10.3390/agronomy9040198

Поступила: 29.03.24; доработана после рецензирования: 24.05.24; принята к публикации: 24.05.24.

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 исследования, анализ данных и их интерпретация; Матаева О. Х. – выполнение полевых опытов, подготовка рукописи; Бжинаев Ф. Х. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Бербекова Н. В. – выполнение полевых опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 633.11»324»:631.524.86:632.4(470.61)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-100-106

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ УСТОЙЧИВОСТИ К ЛИСТОВЫМ БОЛЕЗНЯМ СРЕДИ СОВРЕМЕННЫХ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЮЖНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. Г. Дерова, ведущий научный сотрудник лаборатории иммунитета и защиты растений, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;

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;

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

О. С. Кононенко, агроном лаборатории иммунитета и защиты растений, olapavlenko3008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7012-6460

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Цель работы – поиск источников устойчивости сортов озимой пшеницы к наиболее распространенным в зоне патогенам в условиях искусственных инфекционных фонов и рекомендовать их для включения в селекционный процесс. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на опытном поле лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «АНЦ «Донской». Для расширения генетического разнообразия по иммунитету вновь создаваемых сортов необходимо привлечение новых источников устойчивости. Объектами изучения были 78 сортов озимой пшеницы из межстанционного сортоиспытания, представляющих различные селекционные учреждения России и часть зарубежных сортов. Материалом исследований служили северокавказские популяции возбудителей листовых заболеваний пшеницы: мучнистой росы, бурой и желтой ржавчины, септориоза. Инфекционные фоны создавали по общепринятым методикам, используя споры возбудителей как хранящийся, собранный на посевах в предыдущем году (виды ржавчины), так и собранный с перезимовавших растений весной (мучнистая роса, септориоз). Погодные условия различались по годам изучения (в основном в осенний период), но поражение восприимчивых тест-сортов в опытах было максимальным. В результате проведенных испытаний устойчивых сортов к одному патогену выявлено: к мучнистой росе – 23, к бурой ржавчине – 56, к желтой ржавчине – 47, к септориозу – 8 сортов. Была дана характеристика сортов на устойчивость или восприимчивость в различной степени к каждому изученному патогену. По устойчивости к двум болезням выявлено: к бурой и желтой ржавчине – 17 сортов, к бурой ржавчине и мучнистой росе – 2, к желтой ржавчине и мучнистой росе – 2, к бурой ржавчине и септориозу – 1. Устойчивость ни к одному патогену не проявили 10 сортов, но они проявляли среднюю устойчивость или среднюю восприимчивость к нескольким другим патогенам. К трем болезням в различных сочетаниях были устойчивы 20 сортов, и 16 из них к бурой, желтой ржавчине и мучнистой росе. Один сорт из Венгрии MV Надор проявил устойчивость ко всем 4 возбудителям. Все устойчивые сорта, выявленные в исследовании, могут пополнить запас источников озимой пшеницы к комплексу листовых болезней для селекционных целей или использоваться в интегрированной защите культуры от листовых болезней.

Ключевые слова: озимая пшеница, патоген, устойчивость, восприимчивость, бурая ржавчина, желтая ржавчина, мучнистая роса, септориоз.

Для цитирования: Шишкин Н. В., Дерова Т. Г., Иванисов М. М., Кононенко О. С. Поиск источников устойчивости к листовым болезням среди современных сортов озимой мягкой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 100–106. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-100-106.



SEARCH FOR SOURCES OF RESISTANCE TO LEAF DISEASES AMONG PRESENT WINTER BREAD WHEAT VARIETIES IN THE SOUTHERN PART OF THE ROSTOV REGION

T. G. Derova, leading researcher of the laboratory for plant immunity and protection, derova06@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0001-7969-054X;

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;

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, ivanisov561991@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7395-0910;

O. S. Kononenko, agronomist of the laboratory for plant immunity and protection, olapavlenko3008@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7012-6460

FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The purpose of the current work was to search for sources of winter wheat varieties' resistance to the most common pathogens of the area under artificial infectious backgrounds and recommend them for inclusion in the breeding process. The study was carried out on the experimental plots of the laboratory for plant immunity and protection of the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy" in 2021–2023. In order to expand the genetic diversity in immunity of newly developed varieties, it is necessary to use new sources of resistance. The objects of study were 78 winter wheat varieties from interstation variety testing, representing various breeding institutions in Russia and some foreign varieties. The study material was presented by the North Caucasian populations of pathogens of such wheat leaf diseases as powdery mildew, brown and yellow rust, and leaf spot (Septoria). Infectious backgrounds were formed according to generally accepted methods, using spore material of pathogens both stored and collected from crops in the previous year (types of rust) and collected from overwintered plants in the spring (powdery mildew, leaf spot). Weather conditions varied across the years of study (mainly in the autumn), but the damage to susceptible test varieties in the experiments was maximum. As a result of the study of the varieties on their resistance to one pathogen, there have been identified 23 varieties resistant to powdery mildew, 56 ones to leaf rust, 47 ones to yellow rust, 8 varieties to leaf spot. There has been given a characteristic of varieties according to various degree of resistance or susceptibility to each pathogen. On the resistance to two pathogens, there have been identified 17 varieties resistant to brown and yellow rust, 2 varieties resistant to brown rust and powdery mildew, 2 varieties resistant to yellow rust and powdery mildew, 1 variety resistant to brown rust and leaf spot. Ten varieties have shown resistance to no one pathogen, but they have had moderate resistance or moderate susceptibility to several other pathogens. 20 varieties were resistant to three diseases in various combinations, and 16 of them were resistant to brown, yellow rust, and powdery mildew. One variety 'MV Nador' from Hungary showed resistance to all 4 pathogens. All resistant varieties identified in the study can replenish the supply of winter wheat sources to the complex of leaf diseases for breeding purposes or be used in integrated crop protection against leaf diseases.

Keywords: winter wheat, pathogen, resistance, susceptibility, leaf rust, yellow rust, powdery mildew, leaf spot (Septoria).

Введение. В России пшеница занимает доминирующее положение в списке зерновых культур, а на долю озимой пшеницы приходится 57,4 % от всех площадей пшениц (Агапкин и Махотина, 2021). Пшеница мягкая озимая является основной культурой в полевых севооборотах Ростовской области. В то же время насыщенные этой культурой севообороты при технологических нарушениях выращивания способствуют прогрессирующему ухудшению фитопатологического состояния посевов (Крупенько и Одинцова, 2020). Так, недостаточная по глубине послеуборочная заделка растительных остатков способствует сохранению в жизнеспособном состоянии таких возбудителей листовых болезней, как мучнистая роса, септориоз, виды ржавчины, потери урожая пшеницы от которых в среднем могут составлять 15–20 % (Figutrof et al., 2017, Matzen et al, 2019).

При интегрированной защите озимой пшеницы экономическое, экологическое и социальное значение приобретает возделывание устойчивых к болезням сортов. При использовании в производстве устойчивых к комплексу болезней сортов новой селекции улучшается приспособленность растений к погодно-климатическим условиям, в полной мере проявляется пластичность сортов, максимально реализуется их урожайный потенциал, повышается качество продукции (Агапова и др., 2021).

Наиболее приемлемым способом увеличения урожая рекомендуются оптимальные сортовые составы для конкретных зон возделывания пшеницы с учетом иммунологических характеристик сортов. Так, в Ростовской области широко возделываются сорта, созданные в ФГБНУ «АНЦ «Донской» и проявляющие устойчивость или слабую восприимчивость к основным болезням, распространенным на посевах пшеницы на юге России: Ермак, Станичная, Краса Дона, Лилит, Полина, Шеф, Этюд,

Донская степь и многие другие. Эти сорта по своим физиологическим и хозяйственным признакам соответствуют лучшим отечественным образцам, обладают высокой экологической пластичностью и проявляют устойчивость к комплексу доминирующих болезней, распространенных в зоне возделывания (Марченко и др., 2022).

Для расширения генетического разнообразия по иммунитету вновь создаваемых сортов озимой пшеницы необходимо привлечение новых источников устойчивости. Иммунологические показатели таких источников, изученные в условиях искусственных инфекционных фонов, являются важной информацией для селекционеров при будущей реализации урожайного и качественного потенциала создаваемых сортов (Дерова и др., 2018). В связи с этим целью исследования явился поиск среди современных сортов озимой пшеницы источников устойчивости к наиболее распространенным в зоне грибковым болезням зерновых культур.

Материалы и методы исследований.

Опыты проводили на инфекционном участке лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенного в южной части Ростовской области, в 2021–2023 годы. Почвы характеризуются черноземом обыкновенным мощным карбонатным тяжелосуглинистым. Севооборот двупольный: пар – озимая пшеница. Материалом исследований служили 78 сортов озимой пшеницы из межстанционных сортоиспытаний (МСИ), представленных в основном из различных селекционных учреждений России, и часть сортов из зарубежных стран. В изучении находились 69 сортов из России, в том числе 44 сорта селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко (г. Краснодар), 8 сортов ФГБНУ ФРАНЦ (г. Ростов-на-Дону), 14 сортов ФГБНУ «Северокавказский ФНАЦ» (г. Ставрополь), 2 сорта ООО «Эко Нива»

(г. Курск), 1 сорт ФГБНУ ФНЦЗБК (г. Орел). Среди зарубежных сортов – представители Венгрии (6), Германии, Турции и Украины (по одному сорту).

Объектом исследований являлись северокавказские популяции возбудителей листовых болезней пшеницы: мучнистой росы (*Blumeria graminis* D.C.f. sp. *Tritici* Marchal), бурой ржавчины (*Puccinia recondita* Roberge), желтой ржавчины (*Puccinia striiformis* Westend), септориоза (*Zymoseptoria tritici* Roberge ex Desm и *Septoria nodorum* Berk).

Посев сортов озимой пшеницы проводили ручными сажалками на 2-рядковых деланках длиной 1 погонный м с нормой высева семян 60 шт./погонный м в оптимальные для южной зоны сроки посева. Высевали три изолированных друг от друга восприимчивыми сортами питомника, в которых каждый изучаемый сорт высевали в одном повторении.

Инфекционные фоны по видам ржавчины и мучнистой росы создавали по методике Т.Г. Деровой (1987). Нанесение суспензии спор септориоза на деланки и учет септориоза проводили согласно общепринятым методикам Л.Г. Тырышкин и М.А. Колесова (2008).

Для опытов инфекционный материал (споры) видов ржавчины использовали собранный в предыдущий год и хранящийся в запаянных ампулах в холодильнике. При заражении деланок споры ржавчин активировали, смешивали с мукой в пропорциях относительно жизнеспособности спор и распыляли в соответствующих питомниках под дождь или увлажняли растения опрыскивателями. Инфекционные пятна септориоза и мучнистой росы с пикнидами и клейстотециями собирали весной на перезимовавших растениях озимой пшеницы, подсушивали, готовили суспензии спор и опрыскивали деланки.

Учеты поражения растений видами ржавчин проводили по шкале R.F. Peterson с соавторами (Койшыбаев и др., 2017). Учеты развития болезней листьев пшеницы проводили в динамике (2–3 раза за вегетационный период), начиная с фазы выхода в трубку растений и до молочно-восковой спелости.

Восприимчивыми тест-сортами в питомниках служили следующие сорта: к мучнистой росе – Морозко, к бурой ржавчине – Тарасовская 29, к желтой ржавчине – Донская лира, септориозу – Континент. В каждом питомнике восприимчивые к изучаемым патогенам тест-сорта высевали через каждые 20 сортов. Обсеив питомников восприимчивыми сортами проводили сеялкой СН-16 с нормой высева 70 зерен на 1 погонный м. В вегетационные периоды проводили химические прополки против сорных растений и (по необходимости) обработки посевов инсектицидами против вредителей.

Использование в фитопатологических исследованиях инфекционных фонов предпо-

лагает создание максимально приближенных к оптимальным для развития болезней условиям. Погодно-климатические условия при проведении опытов в 2020/2021 с.-х. году в осенний период характеризовались засушливым режимом. Посев деланок производили в почву с недостаточным увлажнением, и всходы были неравномерными. Но после выпадения осадков все растения взошли, раскустились и ушли в зимовку с первичным запасом септориоза и мучнистой росы на листьях. Весеннее количество осадков в марте (83,2 мм), апреле (95,7 мм), мае (65,0 мм), июне (103,9) мм превышало среднее многолетние показатели, которые составляли 37,0; 42,7; 51,3; и 71,3 мм соответственно. На посевах озимой пшеницы создались благоприятные условия для дальнейшего развития на растениях листовых болезней.

Недостаток атмосферных осадков в осенний период 2021 г., создавшийся вследствие недобора их в сентябре и октябре, задерживал всходы озимой пшеницы. Повышенная норма осадков в ноябре (42,1 мм) и двойная норма в декабре (125,1 мм) способствовали развитию и кущению растений, но в замедленном режиме, так как температурный режим был ниже среднее многолетнего. В дальнейшем теплая зима с обилием осадков способствовала хорошей перезимовке пшеницы и появлению на листьях болезней. Весной обилие осадков в апреле ускорило развитие на пшенице листовых заболеваний, а метеоусловия мая и июня после заражения сортов в питомниках видами болезней также были благоприятными для развития возбудителей листовых болезней.

Хорошая влагообеспеченность почвы к началу оптимальных сроков сева и в последующие месяцы осени 2022 г. (количество осадков было больше или на уровне средних многолетних показателей) создала благоприятные условия для получения равномерных и дружных всходов во всех опытных питомниках. Создались хорошие условия для начального развития 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. За счет весенних осадков, создававших избыток влаги и, соответственно, высокую влажность воздуха (март – 144 %, апрель – 170 %, май – 188 % от нормы осадков) сложились благоприятные условия для отрастания и дальнейшего развития растений и проявления на них листовых болезней, что и наблюдалось в наших опытах.

Классификацию сортов по типам устойчивости к конкретной изучаемой болезни осуществляли (по литературным сведениям) применительно к каждому патогену (Койшыбаев и Муминджанов, 2016; Кривченко и др., 2008; Тырышкин и Колесова, 2008) (табл. 1).

Таблица 1. Шкалы оценок сортов озимой пшеницы по устойчивости к болезням.
Инфекционные фоны (2021–2023 гг.)
Table 1. Winter wheat varieties' rating according to disease resistance.
Infectious backgrounds (2021–2023)

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

Таким образом, используя искусственные фоны заражения изучаемых сортов возбудителями болезней, мы ежегодно получали достоверные оценки по устойчивости их к комплексу листовых болезней.

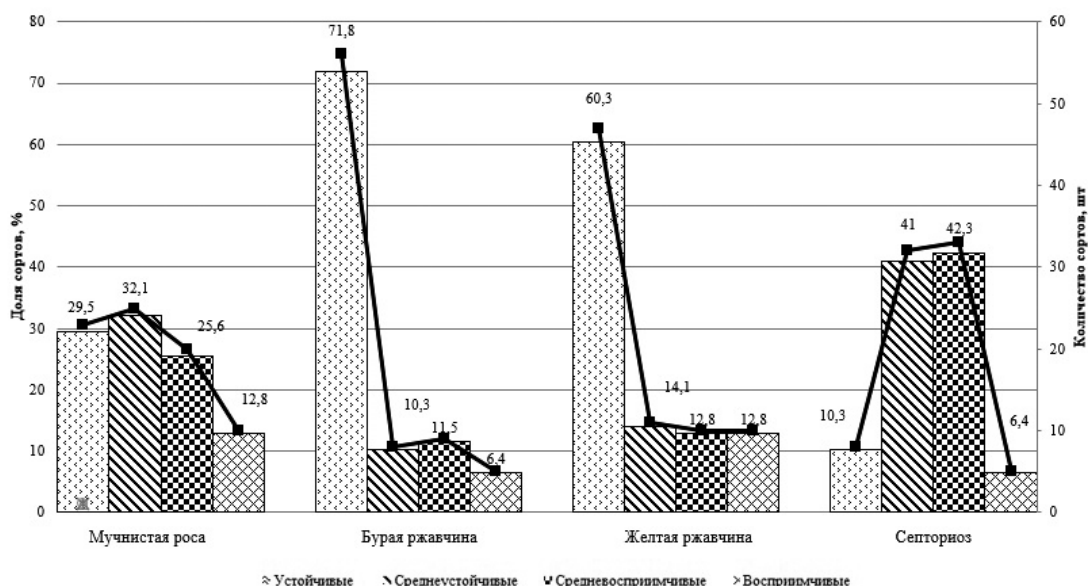
Результаты и их обсуждение. Устойчивость к конкретной болезни больше свойственна отдельному сорту, чем виду в целом, поэтому для успешной селекции на иммунитет большое значение имеет непрерывное обновление исходного материала, а также степень его окультуренности и испытания привлекаемого сорта в конкретных условиях. При разработке селекционных программ на иммунитет крайне важно учитывать данные по устойчивости источников не только к наиболее вредоносным отдельным патогенам, но и к комплексу возбудителей, представляющих угрозу для листового аппарата, играющего ключевую роль в обеспечении урожайности озимой пшеницы. (Койшибаев и др., 2016).

В результате проведенных 3-летних испытаний сортов по устойчивости к мучнистой росе выделено 23 (29,5 %) устойчивых сорта, 25 (32,1 %) среднеустойчивых, 20 (25,6 %) средневосприимчивых и 10 сортов проявили восприимчивость к возбудителю, поражаясь до 2,5–3 баллов.

Не поражаются бурой ржавчиной 56 или 71,8 % сортов, среднеустойчивыми были 8 (10,3 %) сортов, средневосприимчивыми – 9 (11,5 %) сортов и восприимчивыми – поражение выше 50 % – 5 (6,4 %) сортов. Проявили устойчивость только к бурой ржавчине 15 сортов: КИВ – 6, Фортпост, Морец, Акапелла, Богема, Ультра 11, Агрофак, Памяти Шатилова, Флеш, Миг, Изабель Презент, Басият, Лео, Александрия (Россия).

По устойчивости к желтой ржавчине распределение сортов было близким к бурой ржавчине: устойчивые, среднеустойчивые, средневосприимчивые и восприимчивые составляли 47 : 11 : 10 : 10 соответственно.

Септориозные заболевания пшеницы получили распространение на посевах в последние десятилетия. Селекционеры активизировали работы по созданию устойчивых сортов к этому вредоносному возбудителю. И если в начале текущего столетия устойчивые образцы были единичными, то в настоящее время их количество увеличивается так же, как и возросло число среднеустойчивых сортов (Шишкин и др., 2023). В наших исследованиях устойчивость проявили 10,3 % сортов, среднюю устойчивость – 41,0 %, среднюю восприимчивость – 42,3 % и восприимчивость – 6,4 % сортов (см. рисунок).



Распределение сортов озимой пшеницы МС по типам устойчивости к листовым болезням (2021–2023 гг.)
Distribution of the winter wheat varieties according to the type of resistance to leaf diseases (2021–2023)

Устойчивость к септориозу, по трехлетним данным, характерна для следующих сортов:

Федор, Хит, Алапат, Л. 3959 к 20-3, Источник, Донская Т-20, Цефей (Россия), MV Надор

(Венгрия), которую они совмещают с устойчивостью к другим изученным болезням.

На протяжении трех вегетационных периодов наибольшее количество устойчивых к двум болезням сортов озимой пшеницы выделено по отношению к бурой и желтой ржавчине – 17: Еланчик, Армада, Ирда, Богема, Монэ, Самбек, Л. 4484 к 11-1, Чародей и др., к бурой ржавчине и мучнистой росе – 2: Школа, Л. 4320 к 9-1, к желтой ржавчине и мучнистой росе – 2: Батя,

Туранус, к бурой ржавчине и септориозу – сорт Аламат.

По устойчивости к трем возбудителям болезней озимой пшеницы в различных сочетаниях отнесено 20 сортов, сохраняющих свою устойчивость на протяжении трех лет испытания. Преобладают сорта с устойчивостью к возбудителям, селекция к которым ведется с середины прошлого столетия: бурая и желтая ржавчина, мучнистая роса (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика сортов озимой пшеницы МСИ, лучших по устойчивости к комплексу листовых болезней (2021–2023 гг.)
Table 2. Characteristics of the winter wheat varieties with the best resistance to a complex of leaf diseases (2021–2023)

Сорта	Происхождение	Мучнистая роса, балл			Бурая ржавчина, %			Желтая ржавчина, %			Септориоз, %		
		2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Тест-сорта, по болезням		3	3	3	100	100	100	100	100	100	100	60–80	60–80
Гомер	Россия	1	1	1	сл	сл*	сл	0–5	сл	сл	20–30	20–30	40–50
Ахмат	-/-	1,5	01–1	1	сл	сл	сл	10–15	0–5	сл	20–30	20–30	30–40
Стиль18	-/-	1	01–1	1	сл	сл	сл	10–15	5–10	5–10	15–20	30–40	30–40
Эмма	-/-	1,5	01–1	1–1,5	сл	сл	сл	5–10	5–10	10–15	30–40	30–40	50–60
Песня	-/-	1	01	1	сл	сл	сл	сл	сл	0–5	15–20	15–20	30–40
Победа 75	-/-	1	1	1,5	сл	сл	сл	сл	сл	сл	30–40	20–30	30–40
Кольчуга	-/-	01	01	1	0–5	0–5	сл	0–5	5–10	5–10	20–30	15–20	30–40
КИВ-6	-/-	1	1–1,5	1,5	сл	сл	сл	20–30	10–15	0–5	30–40	30–40	20–30
Л 3124 к 4	-/-	сл	01–1	1	0–5	сл	сл	сл	сл	сл	15–20	30–40	40–50
Л 2612 к 26-1	-/-	01	01–1	01–1	сл	сл	сл	0–5	сл	сл	15–20	20–30	20–30
Федор	-/-	1,5	1,5–2	1,5	0–5	0–5	0–5	5–10	0–5	5–10	20–30	15–20	20–30
010 408 а 55	-/-	1	01	01	0–5	сл	0–5	10–15	5–10	5–10	30–40	40–50	30–40
Хит	-/-	1	1,5	1	0–5	сл	0–5	0–5	0–5	сл	20–30	20–30	30–40
Л 3959 к 20-3	-/-	1–1,5	1–1,5	1,5	сл	сл	сл	0–5	10–15	0–5	15–20	20–30	20–30
Slavna	Украина	1,5	01–1	1,5	сл	сл	сл	20–30	5–10	сл	30–40	30–40	20–30
№ 71 CYMMIT	Румыния	01–1	01–1	1	0–5	0–5	0–5	15–20	5–10	0–5	40–50	40–50	50–60
КВС Эмиль	Германия	01	сл	1	сл	сл	сл	сл	сл	сл	15–20	15–20	20–30
MV 37-14	Венгрия	1	1	1,5	5–10	5–10	0–5	15–20	5–10	сл	30–40	40–50	50–60
MVDандар	-/-	1	1	1,5	0–5	0–5	сл	сл	сл	сл	30–40	20–30	30–40
MV Надор	-/-	1	01–1	1	15–20	5–10	сл	0–5	сл	сл	15–20	10–15	10–15

Примечание. *сл – единичные пустулы или инфекционные пятна.

Использование восприимчивых тест-сортов, которые в изучаемые годы на инфекционном фоне имели максимальное поражение болезнями, позволило достоверно дифференцировать изучаемые сорта по реакции на заражение каждым из возбудителей.

В 2023 г. наблюдалась влажная и прохладная погода с весенних месяцев до июня включительно. В этих условиях наблюдалось раннее и продолжительное развитие мучнистой росы на посевах пшеницы, что отмечено несколько повышенными баллами проявления ее в опытах на сортах, в том числе и на восприимчивых.

Все 20 сортов, представленных в таблице 2, имеют показатели устойчивости к трем болезням (бурой, желтой ржавчине и мучнистой росе) и показатели восприимчивости в различной степени к септориозу. Один сорт МУ – Надор (Венгрия) проявил устойчивость ко всем четырем изученным патогенам. К двум видам ржавчины (бурой и желтой) и септориозу

были устойчивы 4 сорта: Хит, Источник, Федор, Л. 3959 к 20-3 (Россия).

Исследования, проведенные на искусственных инфекционных фонах листовых болезней, позволили дать объективную иммунологическую характеристику современным сортам озимой пшеницы и выделить сорта с различной степенью устойчивости к четырем наиболее вредоносным болезням на юге Ростовской области. Предложенные результаты проделанной работы являются актуальными для селекционной практики, так как выявлены источники с групповой устойчивостью к болезням и проявившие этот признак в течение трех лет испытания. Благодаря снижению вредоносности на сорта с устойчивостью к ряду болезней они являются предпочтительными для селекционной практики.

Все сорта, выявленные в процессе исследования, могут как пополнить запас источников устойчивости озимой пшеницы к комплексу листовых болезней для селекционных целей,

так и использоваться в производстве в интегрированной защите культуры от болезней с целью получения экологически чистой и качественной продукции. В современном производстве это является одной из основных проблем как в России, так и в мировой практике.

Выводы. Среди 78 изученных при искусственном заражении сортов озимой пшеницы выявлено различное количество устойчивых сортов к каждому возбудителю – наибольшее к бурой ржавчине (56) и желтой ржавчине (47). Устойчивость к мучнистой росе проявили 23 сорта, к септориозу – 8. Выделены сорта, не пораженные двумя патогенами в различных сочетаниях. С групповой устойчивостью к трем листовым болезням выявлено 20 сортов, и один сорт MV Надор (Венгрия) не поражен четырьмя болезнями. Выделенные сорта с групповой устойчивостью могут быть использованы как исходный материал при подборе родительских пар на устойчивость к основным листовым болезням.

Библиографические ссылки

1. Агапкин А. М., Махотина И. А. К вопросу о состоянии российского зернового рынка // Международная торговля и торговая политика. 2021. Т. 7, № 3(27). С. 133–148. DOI: 10.21686/2410-7395-2021-3-133-148
2. Агапова В. Д., Ваганова О. Ф., Кудинова О. А., Волкова Г. В. Скрининг сортообразцов пшеницы российской селекции на устойчивость к бурой ржавчине // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51, № 1. С. 33–41. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-4
3. Дерова Т. Г., Шишкин Н. В., Павленко О. С. Устойчивость сортов и коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы к комплексу наиболее вредоносных болезней в условиях Нижнего Дона // Зерновое хозяйство России. 2018. № 6. С. 67–72. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-68-72
4. Марченко Д. М., Скрипка О. В., Иванисов М. М., Иличкина Н. П., Самофалова Н. Е., Самофалов А. П., Подгорный С. В., Романюкина И. В., Дубинина О. А., Громова С. Н., Иванисова А. С., Чернова В. Л., Чухненко Ю. Ю., Попов А. С., Дерова Т. Г., Кравченко Н. С. Сорта озимой мягкой и твердой пшеницы. Каталог. Саратов: ООО «Амирит», 2022. 70 с.
5. Патент № 1367922 Способ определения устойчивости сортов озимой пшеницы к инфекционным заболеваниям / Дерова Т. Г.; заявл. 29.04.1984; опубл. от 23.01.1988.
6. 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. № 12 (66). Ч. 3. С. 117–122. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.098
7. Койшыбаев М., Муминджанов Х. Методические указания по мониторингу болезней, вредителей и сорных растений на посевах зерновых культур // Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. Анкара. (CIMMYT). 2016. С. 186–214.
8. Кривченко В. И., Лебедева Т. В., Пеуша Х. О. Мучнистая роса злаков: В кн. «Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам». М.: Россельхозакадемия, 2008. С. 86–106.
9. Крупенько Н. А., Одинцова И. Н. Особенности действия и ретроспективный анализ эффективности фунгицидов для защиты пшеницы мягкой от болезней листового аппарата // Вестник защиты растений. 2020. № 103(4). С. 224–232. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-4-13741
10. Тырышкин Л. Г., Колесова М. А. Септориоз листьев: В кн. «Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам». М.: Россельхозакадемия, 2008. С. 121–129.
11. 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: 10.31367/2079-8725-2023-89-99-104
12. Matzen N., Heick T. M., Jorgensen L. N. Control of powdery mildew (*Blumeria graminis* spp.) in cereal by *Serenade ASO* (*Bacillus amyloquelici* (former *subtilis*) strain QST) // Biological Control. 2019. Vol. 139, Article number: 104067. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104067
13. Figuerof M., Hammond-Kosack K. E., Solomon P. S. A review of wheat diseases-a field perspective // Molecular Plant Pathology. 2017. Vol. 19(6), P. 1523–1536. DOI: 10.1111/mpp.12618

References

1. Agapkin A. M., Makhotina I. A. K voprosu o sostoyanii rossiiskogo zernovogo rynka [On the issue of the state of the Russian grain market] // Mezhdunarodnaya trgovlya i trgovaya politika. 2021. T. 7, № 3(27). S. 133–148. DOI: 10.21686/2410-7395-2021-3-133-148
2. Agapova V. D., Vaganova O. F., Kudinova O. A., Volkova G. V. Skrinig sortoobraztsov pshenitsy rossiiskoi seleksii na ustoichivost' k buroi rzhavchine [Screening of Russian wheat varieties for leaf rust resistance] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2021. T. 51, № 1. S. 33–41. DOI: 10.26898/0370-8799-2021-1-4
3. Derova T. G., Shishkin N. V., Pavlenko O. S. Ustoichivost' sortov i kollektionnykh obraztsov ozimoi myagkoi pshenitsy k kompleksu naibolee vredonosnykh boleznei v usloviyakh Nizhnego Dona [Resistance of varieties and collection samples of winter bread wheat to a complex of the most harmful diseases in the conditions of the Lower Don] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2018. № 6. S. 67–72. DOI: 10.31367/2079-8725-2018-60-6-68-72
4. Marchenko D. M., Skripka O. V., Ivanisov M. M., Ilichkina N. P., Samofalova N. E., Samofalov A. P., Podgornyi S. V., Romanyukina I. V., Dubinina O. A., Gromova S. N., Ivanisova A. S., Chernova V. L., Chukhnenko Yu. Yu., Popov A. S., Derova T. G., Kravchenko N. S. Sorta ozimoi myagkoi i tverdoi pshenitsy [Winter bread and durum wheat varieties]. Katalog. Saratov: ООО «Амирит», 2022. 70 s.

5. Patent № 1367922 Sposob opredeleniya ustoichivosti sortov ozimoi pshenitsy k infektsionnym zabolevaniyam [Method for determining resistance of winter wheat varieties to infectious diseases] / Derova T.G.; zayavl. 29.04.1984; opubl. ot 23.01.1988.

6. 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 types in Northern Kazakhstan] // Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2017. № 12 (66). Ch. 3. S. 117–122. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.098

7. Koishibaev M., Mumindzhanov Kh. Metodicheskie ukazaniya po monitoringu boleznei, vreditelei i sornykh rastenii na posevakh zernovykh kul'tur [Methodical recommendations for monitoring diseases, pests, and weeds on grain crops] // Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaistvennaya organizatsiya OON. Ankara. (CIMMYT). 2016. S. 186–214.

8. Krivchenko V.I., Lebedeva T.V., Peusha Kh.O. Muchnistaya rosa zlakov [Powdery mildew of grain crops: In the book "Study of genetic resources of grain crops for resistance to pests"]. V kn. «Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoichivosti k vrednym organizmam». M.: Rossel'khozakademiya, 2008. S. 86–106.

9. Krupen'ko N.A., Odintsova I.N. Osobennosti deistviya i retrospektivnyi analiz effektivnosti fungitsidov dlya zashchity pshenitsy myagkoi ot boleznei listovogo apparata [Features of action and retrospective analysis of the effectiveness of fungicides for protecting bread wheat from leaf diseases] // Vestnik zashchity rastenii. 2020. № 103(4). C. 224–232. DOI: 10.31993/2308-6459-2020-103-4-13741

10. Tyryshkin L.G., Kolesova M.A. Septorioz list'ev [Septoria spot. In the book "Study of genetic resources of grain crops for resistance to pests"]: V kn. «Izuchenie geneticheskikh resursov zernovykh kul'tur po ustoichivosti k vrednym organizmam». M.: Rossel'khozakademiya, 2008. S. 121–129.

11. Shishkin N.V., Derova T.G. Kompleksnaya otsenka kolleksii CUMMIT (Turtsiya) ozimoi myagkoi pshenitsy na ustoichivost' k rasprostranennym bolezniam v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Comprehensive estimation of the CUMMIT collection (Turkey) of winter bread wheat for resistance to common diseases in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 99–104. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-99-104

12. Matzen N., Heick T.M., Jorgensen L.N. Control of powdery mildew (*Blumeria graminis* spp.) in cereal by Serenade ASO (*Bacillus amyloquelici* (former *subtilis*) strain QST) // Biological Control. 2019. Vol. 139, Article number: 104067. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2019.104067

13. Figuerof M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S. A review of wheat diseases-a field perspective // Molecular Plant Pathology. 2017. Vol. 19(6), P. 1523–1536. DOI: 10.1111/mp.12618

Поступила: 16.01.24; доработана после рецензирования: 16.05.24; принята к публикации: 24.05.24.

Критерий 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. Дерова Т.Г., Шишкин Н.В. – концептуализация и проектирование исследования, закладка опыта, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Кононенко О.С. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

УДК 633.854.78:632.484.21(470.61)

DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-107-112

РАЗНООБРАЗИЕ БИОТИПОВ ВОЗБУДИТЕЛЯ РЖАВЧИНЫ ПОДСОЛНЕЧНИКА (*PUCCINIA HELIANTHI* SCHWEIN.) В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. С. Лепешко, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории селекции и иммунитета подсолнечника, fenykay@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6558-7939
Донская опытная станция имени Л. А. Жданова – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК,
346754, Ростовская обл., Азовский р-он, пос. Опорный, ул. Жданова, д. 2; e-mail: gnudos@mail.ru

В последнее десятилетие выявлен рост распространенности *Puccinia helianthi* на посевах подсолнечника в России. В Ростовской области на территории Донской опытной станции (Азовский район) сильное поражение возбудителем ржавчины подсолнечника было обнаружено в 2020 году. В связи с этим возникла необходимость проведения исследований по определению расовой принадлежности гриба на посевах подсолнечника в районах Ростовской области. Целью исследования являлась идентификация в соответствии с принятой международной триплетной номенклатурой изолятов возбудителя ржавчины, собранных на посевах подсолнечника в период 2021–2023 гг. в разных районах Ростовской области. В качестве тестеров использовали набор линий-дифференциаторов устойчивости подсолнечника к патогену – СМ 90, СМ 29, Р-386, НА-R1, НА-R2, НА-R3, НА-R4, НА-R5 и восприимчивую ко всем биотипам гриба линию ЭД 47. Совокупная выборка составляла 237 изолятов урединиоспор паразита, собранных с пораженных листьев растений подсолнечника. В ней дифференцированы 34 биотипа *P. helianthi*. Наиболее вирулентный патотип 777 выявлен в 2023 г. среди изолятов из Тагинского, Морозовского и Константиновского районов области. Раса с кодовым номером 700 была идентифицирована практически во всех представленных районах региона и составила 52,7 % изученной выборки изолятов возбудителя ржавчины подсолнечника. В данной работе впервые изучен расовый состав патогена на территории Ростовской области. Результаты исследований указывают на необходимость продолжения мониторинга новых биотипов *P. helianthi*, а также расширения и ускорения работ по созданию гибридов подсолнечника, устойчивых к преобладающей в выборке расе с кодом 700.

Ключевые слова: подсолнечник, возбудитель ржавчины, биотип, раса, идентификация, Ростовская область.

Для цитирования: Лепешко Е.С. Разнообразие биотипов возбудителя ржавчины подсолнечника (*Puccinia helianthi* Schwein.) в Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 3. С. 107–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-92-3-107-112.



DIVERSITY OF SUNFLOWER RUST PATHOGEN BIOTYPES (*PUCCINIA HELIANTHI* SCHWEIN.) IN THE ROSTOV REGION

E. S. Lepeshko, post-graduate student, junior researcher of the laboratory for sunflower breeding and immunity, fenykay@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-6558-7939
L. A. Zhdanov Don experimental station – a branch of V. S. Pustovoit All-Russian Research Institute of Oil Crops,
346754, Rostov region, Azov district, v. of Oporny, Zhdanov Str., 2; e-mail: gnudos@mail.ru

In the last decade there has been established an increase in the prevalence of *Puccinia helianthi* in sunflower crops in Russia. In the Rostov region, on the territory of the Don Experimental Station (the Azov region), severe damage by the sunflower rust pathogen was established in 2020. In this regard, there was a need to study the race of the fungus on sunflower crops in the Rostov region. The purpose of the study was to identify rust pathogen isolates collected from sunflower crops in accordance with the accepted international triplet nomenclature in different areas of the Rostov region in the period 2021–2023. As testers, there was used a set of differentiating lines of sunflower resistance to the pathogen, containing SM 90, SM 29, P-386, HA-R1, HA-R2, HA-R3, HA-R4, HA-R5 and the line 'ED 47', susceptible to all biotypes of the fungus. The total sample consisted of 237 parasite urediniospore isolates collected from infected leaves of sunflower plants. There were differentiated 34 biotypes of *P. helianthi*. The most virulent pathotype 777 was identified among isolates from the Tatsinsky, Morozovsky and Konstantinovskiy districts of the region in 2023. The race with code number 700 was identified in almost all represented areas of the region and accounted for 52.7% of the studied sample of sunflower rust pathogen isolates. In the current work the racial composition of the pathogen in the Rostov region was studied for the first time. The study results have indicated the need to continue monitoring new biotypes of *P. helianthi*, as well as expand and accelerate work on the development of sunflower hybrids resistant to the predominant race with code 700 in the sample.

Keywords: sunflower, rust pathogen, biotype, race, identification, Rostov region.

Введение. Возбудитель ржавчины подсолнечника – узкоспециализированный базидиальный биотрофный гриб *Puccinia helianthi* Schwein., описанный впервые в 1822 г. Льюисом Швайницем. В Северной Америке выявлено большое разнообразие биотипов

P. helianthi. По последним данным, имеющимся у нас, за 2011–2012 гг. в семи штатах США учеными было идентифицировано 29 биотипов гриба (Friskop et al., 2015). Во всех странах, где возделывается подсолнечник, периодически возникают эпифитотии возбудителя ржавчины с раз-

ной степени вредоносности. В России первые упоминания о ржавчине подсолнечника датируются 1869 г., когда М.С. Воронин – основоположник русской фитопатологии и микологии, получив пораженные возбудителем ржавчины листья подсолнечника, начал углубленно заниматься изучением патогена (Децына и др., 2018). В России в последние десятилетия в связи с повсеместным нарушением севооборотов и насыщением их посевами подсолнечника стали возникать новые, более вирулентные расы возбудителей болезней этой культуры: ложная мучнистая роса, фомоз, заразиха, ржавчина (Горбаченко и др., 2020; Гучетль и др., 2020; Саукова и др., 2021). Новые биотипы, которых с каждым годом становится больше, преодолевают действие генов устойчивости возделываемого сорта подсолнечника. Спектр вирулентности возбудителя ржавчины подсолнечника – этого облигатного паразита – довольно широкий (Gulya et al., 2019; Арасланова и др., 2023). Для идентификации кодов вирулентности возбудителя ржавчины подсолнечника используют международно принятую номенклатуру, состоящую из восьми линий-дифференциаторов устойчивости к ржавчине и одного контрольного образца, восприимчивого ко всем биотипам *P. helianthi*. Триплетная система была создана в конце XX века американскими учеными Т. Gulya and С. Maširević (Gulya and Maširević, 1996). Продолжительное время информации о сильном поражении посевов подсолнечника возбудителем ржавчины в регионах Российской Федерации было мало или она отсутствовала. Возникновение эпифитотий зависит от складывающихся погодных условий, благоприятных для развития гриба, и от количества инфекционного начала, накопленного в агроценозах.

С середины XX века во Всероссийском научно-исследовательском институте масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК) начали заниматься селекцией на устойчивость к *P. helianthi*. Впервые расовую принадлежность возбудителя ржавчины подсолнечника на территории Краснодарского края изучила Э.Л. Слюсарь. Она обнаружила наличие двух рас: 1 и 3. Самой распространенной являлась раса 1. В 1981 г. во ВНИИМК был создан устойчивый к этим двум расам возбудителя ржавчины сорт подсолнечника Кремний (Слюсарь, 1983; Лепешко, 2021). С изменением погодных условий и эволюцией гриба появляются новые, более агрессивные биотипы патогена, которые преодолевают устойчивость возделываемого сорта подсолнечника. В исследованиях ученых ВНИИМК за период 2017–2019 гг. в трех регионах РФ (Саратовская, Липецкая области и Краснодарский край) было идентифицировано шесть физиологических биотипов возбудителя ржавчины подсолнечника, из которых четыре (700, 710, 722 и 772) были обнаружены в РФ впервые (Антонова и др., 2020). За период 2020–2022 гг. в восьми регионах РФ удалось дифференцировать 27 патотипов гри-

ба, среди которых выявлены 14 новых биотипов *P. helianthi* с кодовыми номерами 320, 701, 703, 720, 721, 730, 742, 744, 747, 761, 765, 766, 771, 777 (Арасланова и др., 2023). В Ростовской области сильное поражение посевов подсолнечника наблюдалось в 2020 году. Тогда же там были начаты работы по сбору изолятов и идентификации биотипов гриба на посевах подсолнечника (Araslanova et al., 2021).

Целью исследования являлась идентификация в соответствии с принятой международной триплетной номенклатурой изолятов возбудителя ржавчины, собранных на посевах подсолнечника в период 2021–2023 гг. в разных районах Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в лаборатории селекции и иммунитета подсолнечника Донской опытной станции имени Л.А. Жданова – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта» (ДОС – филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК). Для определения кода вирулентности биотипов возбудителя ржавчины использовали полевые изоляты, представляющие собой смесь урединоспор, собранных с пораженных листьев растений подсолнечника отечественной и зарубежной селекции. Пораженные ржавчиной листья подсолнечника (рис. 1) были собраны в отдельные пергаментные пакеты в районах области, из которых поступали сообщения о значительном появлении на растениях урединоспор.

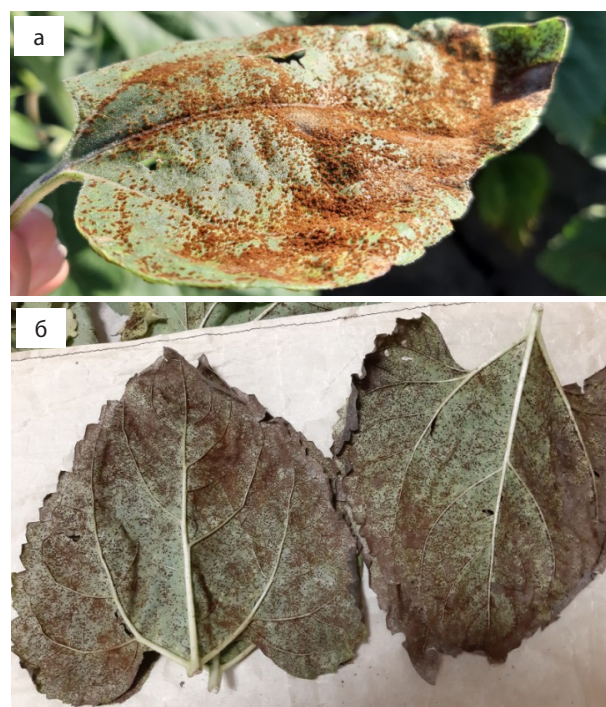


Рис. 1. Лист подсолнечника, пораженный в сильной степени возбудителем ржавчины *Puccinia helianthi* Schwein: а – верхняя, б – нижняя стороны листа (ориг.)
Fig. 1. A sunflower leaf heavily damaged by the rust pathogen *Puccinia helianthi* Schwein: а – upper, б – lower leaf sides (original)

В условиях лаборатории урединиоспоры стряхивали или соскабливали на лист глянцевой бумаги, затем ссыпали их в пластиковые пробирки, подписывали и хранили в холодильной камере при температуре 4–6 °С.

Семена линий-дифференциаторов устойчивости подсолнечника к ржавчине (СМ 90, СМ 29, Р-386, НА-Р1, НА-Р2, НА-Р3, НА-Р4, НА-Р5) и линии ЭД 47, восприимчивой ко всем биотипам гриба (контроль), высевали в цветочные ящики с почвой и помещали на стеллажи с освещением, где растения выращивали при температуре 23–25 °С и 16-часовом фотопериоде до образования первой пары настоящих листьев, поддерживая оптимальную влажность почвы. Перед заражением растений температуру воздуха снижали до 20 °С и опрыскивали их водой для лучшего прилипания урединиоспор.

Споры каждого изолята из пробирок наносили на настоящие листья растений подсолнечника. После заражения создавали влажную камеру на 24 часа. Затем выращивали растения в тех же температурных условиях, поддерживая высокую влажность воздуха. После девятидневного инкубационного периода, при появлении урединиопустул на листьях растений, проводили учет степени поражения листовой поверхности. При поражении листьев контрольного варианта со степенью более 30 пустул на листе результаты оценки относили к достоверным (Araslanova et al., 2021; Арасланова и др., 2023).

Результаты и их обсуждение. Для исследования нами были собраны 237 изолятов возбудителя ржавчины на посевах подсолнечника в разных районах Ростовской области (табл. 1).

Таблица 1. Районы Ростовской области, где были собраны изоляты возбудителя ржавчины на посевах подсолнечника (2021–2023 гг.)
Table 1. Districts of the Rostov region where rust pathogen isolates were collected on sunflower crops (2021–2023)

№ п/п	Район	Количество изолятов, шт.			Итого по району
		2021 год	2022 год	2023 год	
1	Азовский	30	28	4	62
2	Кагальницкий	8	14	5	27
3	Зерноградский	9	18	6	33
4	Багаевский	0	0	4	4
5	Веселовский	0	4	4	8
6	Егорлыкский	0	15	3	18
7	Целинский	0	8	0	8
8	Морозовский	0	0	3	3
9	Мясниковский	0	0	3	3
10	Матвеево-Курганский	7	10	3	20
11	Родионово-Несветайский	8	9	2	19
12	Неклиновский	0	0	2	2
13	Куйбышевский	0	0	2	2
14	Семикаракорский	0	0	3	3
15	Константиновский	0	0	3	3
16	Орловский	0	0	4	4
17	Обливский	0	0	3	3
18	Тацинский	0	0	4	4
19	Миллеровский	0	3	0	3
20	Боковский	0	0	4	4
21	Шолоховский	0	4	0	4
Итого по годам		62	113	62	237

В пяти районах области в 2021 г. было собрано 62 изолята возбудителя ржавчины. Наибольшее количество экземпляров собрано в 2022 г. в 10 районах области – 113 шт. В 2023 г. охвачено большее количество районов – 18, собрано 62 изолята.

В 2021 г. среди изученных изолятов возбудителя идентифицировано 15 патотипов гриба (рис. 2).

В этой выборке преобладал биотип с кодовым номером 700 (27 изолятов – 43,5 %). Количество остальных варьировало от 1,6 до 14,5 %.

В выборке изолятов *P. helianthi*, собранных в 2022 г., дифференцированы девять биотипов

гриба с кодами вирулентности 100, 300, 301, 700, 704, 710, 721, 740 и 764 (рис. 3).

Наибольшее количество изолятов, как и в предыдущем году, было представлено биотипом с кодовым номером 700 (78 изолятов, что составляет 69 % всей выборки). Среди этой выборки нами были обнаружены три новых для Ростовской области единичных экземпляра *P. helianthi* с кодовыми номерами 301, 721 и 764.

В выборке изолятов, собранных в районах Ростовской области в 2023 г., было выявлено 24 биотипа гриба (рис. 4).



Рис. 2. Распределение биотипов *P. helianthi* в выборке изолятов, собранных в пяти районах Ростовской области (2021 г.)

Fig. 2. Distribution of *P. helianthi* biotypes in a sample of isolates collected in five districts of the Rostov region (2021)



Рис. 3. Распределение биотипов *P. helianthi* в выборке изолятов, собранных в десяти районах Ростовской области (2022 г.)

Fig. 3. Distribution of *P. helianthi* biotypes in a sample of isolates collected in ten districts of the Rostov region (2022)

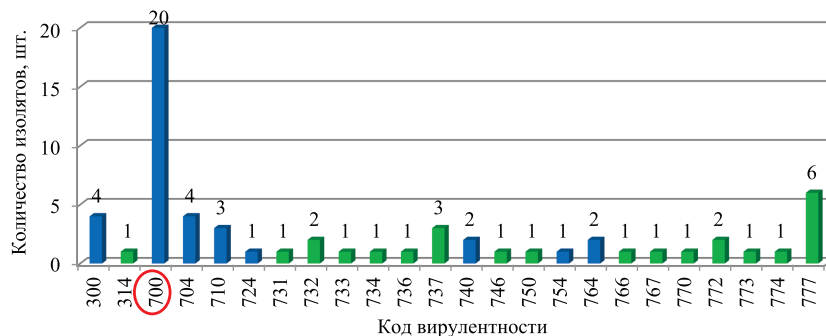


Рис. 4. Распределение биотипов *P. helianthi* в выборке изолятов, собранных в восемнадцати районах Ростовской области (2023 г.)

Fig. 4. Distribution of *P. helianthi* biotypes in a sample of isolates collected in eighteen districts of the Rostov region (2023)

Кодовый номер 700 принадлежал 20 изолятам. По сравнению с предыдущими годами исследований в Ростовской области были идентифицированы 16 новых биотипов гриба с кодами вирулентности 314, 731, 732, 733, 734, 736, 737, 746, 750, 766, 767, 770, 772, 773, 774, и 777. Среди них выявлен наиболее вирулентный для этой кодовой системы патотип гриба с номером 777, но в малом количестве. Он обнаружен в трех районах – Морозовском (1 изолят), Константиновском (1 изолят) и Тагинском (4 изолята). Данный биотип поражает все имеющиеся у нас линии-дифференциаторы устойчивости. Патотип 777 может увеличить ареал своего распространения, если будет выращиваться такой восприимчивый сортимент подсолнечника,

на котором он мог бы паразитировать и размножаться без высокой степени угнетения растения-хозяина. Из доступных литературных источников известно о возможности генетической рекомбинации *P. helianthi*, которая приводит к появлению новых, более вирулентных биотипов гриба (Sendall et al., 2006). Однако, по нашему мнению, занимать обширные ареалы и называться расами смогут лишь те из них, которые, обладая не самой высокой вирулентностью, будут сосуществовать с растением-хозяином, не вызывая его сильного угнетения. Необходим дальнейший мониторинг распространения биотипов этого облигатного паразита для проведения оптимальной селекции подсолнечника на устойчивость к нему.

Таким образом, за три года исследований идентифицирована расовая принадлежность 237 изолятов возбудителя ржавчины подсолнечника в соответствии с международно при-

нятой трехзначной кодовой номенклатурой. В этой выборке были дифференцированы 34 биотипа гриба (рис. 5).

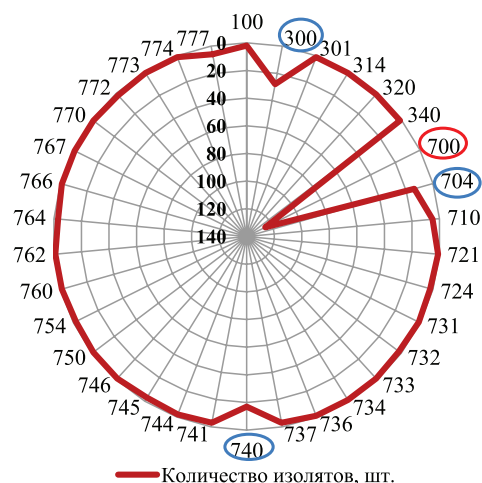


Рис. 5. Распределение биотипов *P. helianthi* в суммарной выборке изолятов из разных районов Ростовской области (2021–2023 гг.)

Fig. 5. Distribution of *P. helianthi* biotypes in the total sample of isolates from different regions of the Rostov region (2021–2023)

В суммарной выборке изолятов преобладал биотип с кодом вирулентности 700 (125 изолятов). Частота его встречаемости составила 52,7 %. В меньшем количестве присутствовали биотипы 300 (11,8 %), 740 (7,2 %) и 704 (5,9 %).

Старая раса 100 (1 – по старой номенклатуре), распространенная в нашей стране в конце прошлого века, еще встречалась в виде единичных образцов в выборках изолятов 2021 и 2022 годов. Раса 300 (3 – по старой номенклатуре), преобладавшая в РФ в 80-х годах прошлого века, выявлялась ежегодно. Возможная причина длительного нахождения этих рас в природе до настоящего времени – сохранение инфекционного начала на сорных растениях-резерватах (дурнишник и циклахена дурнишниковидная) и возделывание восприимчивых к ним отечественных сортов-популяций подсолнечника.

Выводы. Таким образом, в выборке изолятов возбудителя ржавчины подсолнеч-

ника (237 образцов), собранных в период 2021–2023 гг. в 21 районе Ростовской области, дифференцированы 34 биотипа *Puccinia helianthi* Schwein. Все обнаруженные нами биотипы патогена выявлены в Ростовской области впервые. Наиболее вирулентный биотип 777 выявлен в 2023 г. среди изолятов из Константиновского, Морозовского и Тагинского районов. Раса с кодовым номером 700 обнаружена практически во всех представленных районах и составила 52,7 % изученной выборки изолятов, что указывает на необходимость безотлагательного проведения селекции подсолнечника на устойчивость к ней.

Благодарности. Автор выражает благодарность ученым лаборатории иммунитета ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК Т.С. Антоновой и Н.М. Араслановой за помощь и предоставленные семена линий-дифференциаторов устойчивости подсолнечника к ржавчине.

Библиографические ссылки

1. Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Ивебор М.В., Саукова С.Л., Питинова Ю.В. Новые расы *Puccinia helianthi* Schwein – возбудителя ржавчины подсолнечника в Российской Федерации // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 23–26. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/23-26
2. Арасланова Н.М., Антонова Т.С., Саукова С.Л., Ивебор М.В. Разнообразие биотипов возбудителя ржавчины подсолнечника в регионах Российской Федерации // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24(5). С. 792–798. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.792-798
3. Горбаченко О.Ф., Горбаченко Ф.И., Усатенко Т.В., Лучкин Н.С., Бурляева Е.Г., Житник Н.А., Горбаченко В.Д. Создание исходного селекционного материала подсолнечника, устойчивого к новым высоковирулентным расам паразита и ложной мучнистой росы // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 59–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-59-63
4. Гучетль С.З., Антонова Т.С., Арасланова Н.М., Челюстикова Т.А., Питинова Ю.В. Идентичность генов устойчивости к расе G паразита у некоторых линий подсолнечника // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 45–49. DOI: 10.30850/vrsn/2020/6/45-49
5. Децына А.А., Терещенко Г.А., Илларионова И.В. Распространенность ржавчины на сортах подсолнечника в условиях Краснодарского края // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. Вып. 2 (174). С. 101–106. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-2-174-101-106
6. Лепешко, Е.С. Ржавчина подсолнечника (*Puccinia helianthi* Schwein) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 3(75). С. 88–92. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-88-92

7. Саукова С. Л., Антонова Т. С., Арасланова Н. М., Ивебор М. В., Рыженко Е. Н. Устойчивость селекционного материала подсолнечника к поражению фомозом // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 6. С. 64–67. DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/64-67
8. Araslanova N., Antonova T., Lepeshko E., Usatenko T., Saukova S., Iwebor M., Pitinova Y. New races of rust pathogen on sunflower in Russia // *Helia*. 2021. Vol. 44(75)? P. 147–154. DOI: 10.1515/helia-2021-0007
9. Friskop A. J., Gulya T. J., Harveson R. M., Humann R. M., Acevedo M., Markell S. G. Phenotypic diversity of *Puccinia helianthi* (sunflower rust) in the United States from 2011 and 2012 // *Plant Disease*. 2015. Vol. 99(11), P. 1604–1609. DOI: 10.1094/PDIS-11-14-1127-RE
10. Gulya T. J., Maširević S. Inoculation and evaluation methods for sunflower rust // *Proc. 18th Sunflower Research Workshop. National Sunflower Association. Bismarck, ND. 1996. P. 31–38.*
11. Gulya T., Harveson R., Mathew F., Block C., Thompson S., Kandel H., Berglund D., Sandbakken J., Kleingartner L., Markell S. Comprehensive disease survey of U.S. sunflower: Disease trends, research priorities and unanticipated impacts // *Plant Disease*. 2019. Vol. 103(4), P. 601–618. DOI: 10.1094/PDIS-06-18-0980-FE
12. Sendall B. C., Kong G., Goulter K., Aitken E., Thompson S. M., Mitchell J. H. M., Kochman J. K., Lawson W. Diversity in the sunflower: *Puccinia helianthi* pathosystem in Australia // *Australasian Plant Pathology*. 2006. Vol. 35(6), P. 657–670. DOI: 10.1071/AP06071

References

1. Antonova T. S., Araslanova N. M., Iwebor M. V., Saukova S. L., Pitinova Yu. V. Novye rasy *Puccinia helianthi* Schwein – возбудителя ржавчины подсолнечника в Российской Федерации [New races of *Puccinia helianthi* Schwein – the causative agent of sunflower rust in the Russian Federation] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 23–26. DOI: 10.30850/vrsn/2020/5/23-26
2. Araslanova N. M., Antonova T. S., Saukova S. L., Iwebor M. V. Raznoobrazie biotipov возбудителя ржавчины подсолнечника в регионах Российской Федерации [Diversity of biotypes of the sunflower rust pathogen in the regions of the Russian Federation] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2023. № 24(5). С. 792–798. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.792-798
3. Gorbachenko O. F., Gorbachenko F. I., Usatenko T. V., Luchkin N. S., Burlyaeva E. G., Zhitnik N. A., Gorbachenko V. D. Sozdanie iskhodnogo selektsionnogo materiala podsolnechnika, ustoichivogo k novym vysokovirulentnym rasam zarazikhi i lozhnoi muchnistoi rosy [Development of initial sunflower breeding material resistant to new highly virulent races of broomrape and downy mildew] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2020. № 1(67). С. 59–63. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-59-63
4. Guchet' S. Z., Antonova T. S., Araslanova N. M., Chelyustnikova T. A., Pitinova Yu. V. Identichnost' genov ustoichivosti k rase G zarazikhi u nekotorykh linii podsolnechnika [Identity of resistance genes to race G of broomrape in some sunflower lines] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 45–49. DOI: 10.30850/vrsn/2020/6/45-49
5. Detsyna A. A., Tereshchenko G. A., Illarionova I. V. Rasprostranennost' rzhavchiny na sortakh podsolnechnika v usloviyakh Krasnodarskogo kraia [Prevalence of rust on sunflower varieties in the Krasnodarsky Krai] // *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskii byulleten' Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2018. Vyp. 2 (174), С. 101–106. DOI: 10.25230/2412-608X-2018-2-174-101-106
6. Lepeshko, E. S. Rzhavchina podsolnechnika (*Puccinia helianthi* Schwein) [Sunflower rust (*Puccinia helianthi* Schwein)] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2021. № 3(75). С. 88–92. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-75-3-88-92
7. Saukova S. L., Antonova T. S., Araslanova N. M., Iwebor M. V., Ryzhenko E. N. Ustoichivost' selektsionnogo materiala podsolnechnika k porazheniyu fomozom [Resistance of sunflower breeding material to Phoma blight] // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 6. С. 64–67. DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/64-67
8. Araslanova N., Antonova T., Lepeshko E., Usatenko T., Saukova S., Iwebor M., Pitinova Y. New races of rust pathogen on sunflower in Russia // *Helia*. 2021. Vol. 44(75), P. 147–154. DOI: 10.1515/helia-2021-0007
9. Friskop A. J., Gulya T. J., Harveson R. M., Humann R. M., Acevedo M., Markell S. G. Phenotypic diversity of *Puccinia helianthi* (sunflower rust) in the United States from 2011 and 2012 // *Plant Disease*. 2015. Vol. 99(11), P. 1604–1609. DOI: 10.1094/PDIS-11-14-1127-RE
10. Gulya T. J., Maširević S. Inoculation and evaluation methods for sunflower rust // *Proc. 18th Sunflower Research Workshop. National Sunflower Association. Bismarck, ND. 1996. P. 31–38.*
11. Gulya T., Harveson R., Mathew F., Block C., Thompson S., Kandel H., Berglund D., Sandbakken J., Kleingartner L., Markell S. Comprehensive disease survey of U.S. sunflower: Disease trends, research priorities and unanticipated impacts // *Plant Disease*. 2019. Vol. 103(4), P. 601–618. DOI: 10.1094/PDIS-06-18-0980-FE
12. Sendall B. C., Kong G., Goulter K., Aitken E., Thompson S. M., Mitchell J. H. M., Kochman J. K., Lawson W. Diversity in the sunflower: *Puccinia helianthi* pathosystem in Australia // *Australasian Plant Pathology*. 2006. Vol. 35(6), P. 657–670. DOI: 10.1071/AP06071

Поступила: 24.04.24; доработана после рецензирования: 18.05.24; принята к публикации: 18.05.24.

Критерии авторства. Автор статьи несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Лепешко Е. С. – концептуализация исследования, подготовка опыта, сбор изолятов возбудителя в районах Ростовской области, выполнение лабораторных опытов, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.