

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
GRAIN ECONOMY OF RUSSIA
THEORETICAL AND SCIENCE PRACTICAL JOURNAL

4(76)2021

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Аграрный научный центр «Донской» является членом Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ)

Филиппов Е.Г. – главный редактор, канд. с.-х. н., доцент (Зерноград, Россия);
Голубова В.А. – зам. главного редактора, канд. биол. н. (Зерноград, Россия);
Донцова А.А. – ответственный секретарь, к. с.-х. н. (Зерноград, Россия).

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Баталова Г.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (Киров, Россия);
Беспалова Л.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Вислобокова Л.Н. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «Тамбовский НИИСХ» (Тамбов, Россия);
Гончаренко А.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Зезин Н.Н. – д-р с.-х. н., ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН (Екатеринбург, Россия);
Лукомец В.М. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФНЦ «ВНИИМК» (Краснодар, Россия);
Медведев А.М. – чл.-корр. РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Долженко В.И. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ВИЗР» (Санкт-Петербург, Россия);
Волкова Г.В. – д-р биол. н., ФГБНУ «ВНИИБЗР» (Краснодар, Россия);

Подколзин А.И. – д-р биол. н., проф., ФГБОУ ВО «Ставропольский ГАУ» (Ставрополь, Россия);
Назаренко О.Г. – д-р биол. н., проф., ФГБУ ГЦАС «Ростовский» (Рассвет, Россия);
Романенко А.А. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» (Краснодар, Россия);
Сандухадзе Б.И. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка» (Одинцово, Россия);
Сотченко В.С. – академик РАН, д-р с.-х. н., ФГБНУ «ВНИИ кукурузы» (Пятигорск, Россия);
Храмцов И.Ф. – академик РАН, д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «Омский АНЦ» (Омск, Россия);
Шевченко С.Н. – академик РАН, д-р с.-х. н., Самарский НИИСХ (Самара, Россия);
Ле Зунь Хай – Агрогенетический институт (Ханой, Вьетнам);
Халил Сурек – д-р н., Тракийский аграрный НИИ (Эдирне, Турция);
Юсупов Г.Ю. – канд. с.-х. н., Министерство сельского и водного хозяйства Туркменистана (Ашхабад, Туркменистан);
Давлетов Ф.А. – д-р с.-х. н., Башкирский НИИСХ ФГБНУ УФИЦ РАН (Уфа, Россия).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ашиев А.Р. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Вожжова Н.Н. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Зеленская Г.М. – д-р с.-х. н., проф., ФГБОУ ВО Донской ГАУ (Персиановский, Россия);
Иванисов М.М. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Ковалев В.С. – д-р с.-х. н., проф., ФНЦ риса (Краснодар, Россия);
Ковтунов В.В. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Костылев П.И. – д-р с.-х. н., проф., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Кравченко Н.С. – канд. биол. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Кривошеев Г.Я. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Марченко Д.М. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Метлина Г.В. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия);
Самофалов А.П. – канд. с.-х. н., ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград, Россия).

The founder: Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural Research Center "Donskoy", a member of the Association of Science Editors and Publishers

Filippov E.G. – chief editor, Cand. Sci., docent (Agriculture) (Zernograd, Russia);
Golubova V.A. – deputy chief editor, Cand. Sci. (Biology) (Zernograd, Russia);
Dontsova A.A. – executive secretary, Cand. Sci. (Agriculture) (Zernograd, Russia).

EDITORIAL COUNCIL:

Batalova G.A. – Federal Agricultural Research Center of the East named N.V. Rudnitsky – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Kirov, Russia);
Bespalova L.A. – "P.P. Lukiyenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Vislobokova L.N. – Tambov branch of the "Russian Agricultural Center" – Cand. Sci. (Agriculture) (Tambov, Russia);
Gontcharenko A.A. – Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Zezin N.N. – Uralsky Research Institute of Agriculture – Dr. Sci. (Agriculture) (Ekaterinburg, 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), corresponding member of RAS (Odintsovo, Russia);
Dolzhenko V.I. – academician of RAS, Dr. Sci. (Agriculture), professor, FSBSI All-Russian Research Institute of Plant Protection (St.Petersburg, Russia);
Volkova G.V. – All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection – Dr. Sci. (Biology) (Krasnodar, Russia);
Podkolzin A.I. – Stavropolsky State Agricultural University – Dr. Sci. (Biology), professor (Stavropol, Russia);
Nazarenko O.G. – State Center of Agrochemical Service "Rostovsky" – Dr. Sci. (Biology), professor (Rassvet, Russia);
Romanenko A.A. – "P.P. Lukiyenko National Center of Grain" – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Krasnodar, Russia);
Sandukhadze B.I. – Federal Research Center "Nemchinovka" – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Odintsovo, Russia);
Sotchenko V.S. – All-Russian Research Institute of Maize – Dr. Sci. (Agriculture), academician of RAS (Pyatigorsk, Russia);
Khramtsov I.F. – Omsk Agrarian Scientific Center – Dr. Sci. (Agriculture), professor, academician of RAS (Omsk, Russia);
Shevchenko S.N. – Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS (Samara, Russia);
Le Zun Hai, Agrogenetic Institute (Hanoi, Vietnam);
Khalil Surek, Trakia Agricultural Research Institute – PhD (Edirne, Turkey);
Yusupov G.Yu. – Ministry of Agriculture and Water Management of Turkmenistan – Cand. Sci. (Agriculture) (Ashkhabat, Russia);
Davletov F.A. – Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences – Dr. Sci. (Agriculture) (Ufa, Russia).

EDITORIAL BOARD:

Ashiev A.R. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Vozhzhova N.N. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Zelenskaya G.M. – Dr. Sci. (Agriculture), professor, FSBEI HE Donskoy SAU (Persiyansky, Russia);
Ivanisov M.M. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Kovalev V.S. – Dr. Sci. (Agriculture), professor, FRC of rice (Krasnodar, Russia);
Kovtunov V.V. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Kostylev P.I. – Dr. Sci. (Agriculture), professor, FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Kravchenko N.S. – Cand. Sci. (Biology), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Krivosheev G.Ya. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Marchenko D.M. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Metlina G.V. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia);
Samofalov A.P. – Cand. Sci. (Agriculture), FSBSI "ARC "Donskoy" (Zernograd, Russia).

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

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 06.01.00 – агрономия). Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,602 (2019). 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.
Периодичность издания – 6 номеров. Подписано в печать
Дата выхода 28.08.2021. Формат 60x84/8. Тираж 300. Заказ №
Отпечатано в ООО «Амирит», 410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 88.

ЗЕРНОВОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

Содержание

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

- Голубова В.А., Газе В.Л. Изучение механизмов регуляции воды в растениях сортов озимой мягкой пшеницы в условиях острой засухи 3
- Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Засыпкина И.М. Оценка экологической пластичности и стабильности перспективных сортов и линий озимого ячменя в конкурсном сортоиспытании 8
- Костылев П.И., Аксенов А.В. Селекция суходольного риса на засухоустойчивость (обзор) 15
- Ильин А.В., Шарганова И.А., Деревягин С.С. Новый сорт ярового ячменя 'Граник' 23
- Игнатиев С.А., Регидин А.А., Кравченко Н.С. Семенная продуктивность и параметры адаптивности образцов люцерны на юге Ростовской области 28

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

- Гольдварг Б.А., Боктаев М.В., Мудрова А.А. Опыт возделывания твердых пшениц в условиях Калмыкии 34
- Замятин С.А., Максимова Р.Б. Влияние культур севооборотов на биологическую активность почвы 39
- Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Чегунова А.В., Скулова М.В. Оценка урожайности зерна новых линий гороха посевного и определение параметров их адаптивности 45
- Исаева Е.И., Яговенко Г.Л. Продуктивность звена севооборота с люпином при разных способах основной обработки почвы 50
- Юшкевич Л.В., Пахотина И.В., Щитов А.Г. Продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в плодосменном севообороте лесостепи Западной Сибири 54
- Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Анисимкина Н.В. Результаты изучения биохимических свойств зерна овса голозерного и физических свойств теста смесей с пшеничной мукой 61
- Турина Е.Л., Прахова Т.Я., Радченко Л.А. Значение крамбе абиссинской (*Crambe Abyssinica*) и ее урожайность в различных странах мира (обзор) 66

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

- Кобылянский В. Д., Солодухина О.В. Развитие спорыньи на низкопентозановой диплоидной озимой ржи 73

АГРОХИМИЯ

- Попов А.С., Овсянникова Г.В., Сухарев А.А., Филиппов Е.Г., Лесных О.С. Урожайность ячменя-двуручки сорта Маруся в зависимости от внесения минеральных удобрений и ретарданта Моддус в южной зоне Ростовской области 79
- Левакова О.В., Гладышева О.В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность нового сорта ярового ячменя Знатный в Нечерноземной зоне РФ 86

GRAIN ECONOMY OF RUSSIA

Contents

PLANT-BREEDING AND SEED PRODUCTION OF AGRICULTURAL CROPS

- Golubova V.A., Gaze V.L. The study of the water regulation mechanisms in the winter bread wheat varieties under an acute drought 3
- Filippov E.G., Dontsova A.A., Dontsov D.P., Zasypkina I.M. Estimation of ecological adaptability and stability of promising winter barley varieties and lines in the competitive variety testing 8
- Kostylev P.I., Aksenov A.V. Upland rice breeding for drought tolerance (review) 15
- Iliin A.V., Sharganova I.A., Derevyagin S.S. The new spring barley variety 'Granik' 23
- Ignatiev S.A., Regidin A.A., Kravchenko N.S. Seed productivity and adaptability parameters of the alfalfa samples in the south of the Rostov region 28

GENERAL AGRICULTURE AND PLANT-BREEDING

- Goldvarg B.A., Boktaev M.V., Mudrova A.A. The experience of durum wheat cultivation in the conditions of Kalmykia 34
- Zamyatin S.A., Maksimova R.B. The effect of crop rotation on the soil biological activity 39
- Ashiev A.R., Khabibullin K.N., Chegunova A.V., Skulova M.V. Estimation of productivity of the new peas lines and determination of their adaptability parameters 45
- Isaeva E.I., Yagovenko G.L. Productivity of the crop rotation link with lupine with different methods of basic tillage 50
- Yushkevich L.V., Pakhotina I.V., Shchitov A.G. Spring wheat productivity and grain quality in the crop rotation of the forest-steppe of Western Siberia 54
- Shabolkina E.N., Shevchenko S.N., Anisimkina N.V. The study results of biochemical properties of naked oats and physical properties of the dough mixtures with wheat flour 61
- Turina E.L., Prakhova T.Ya., Radchenko L.A. The value of the crop 'Crambe abyssinica' (*Crambe Abyssinica*) and its productivity in various countries of the world (review) 66

PLANT PROTECTION

- Kobylyansky V.D., Solodukhina O.V. Ergot development on low-pentosan diploid winter rye 73

AGROCHEMISTRY

- Popov A.S., Ovsyannikova G.V., Sukharev A.A., Filippov E.G., Lesnykh O.S. Productivity of the facultative barley variety 'Marusya' depending on the use of mineral fertilizers and the growth retardant 'Moddus' in the southern part of the Rostov region 79
- Levakova O.V., Gladysheva O.V. The effect of mineral fertilizers on productivity of the new spring barley variety 'Znatny' in the non-blackearth part of the Russian Federation 86

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 633.11:632.111.6

DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-3-7

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ РЕГУЛЯЦИИ ВОДЫ В РАСТЕНИЯХ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ОСТРОЙ ЗАСУХИ

В.А. Голубова, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии растений, Valya_17@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-5340-4901;

В.Л. Газе, младший научный сотрудник лаборатории физиологии растений, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Водный режим растений, характерный для определенного сорта, во многом определяет устойчивость растений к засухе. Засуха влияет, прежде всего, на такие показатели, как водопоглощающая способность, водоудерживающая способность, водный дефицит и изменение общей оводненности в процессе онтогенеза. Изучение и учет одновременно ряда параметров водного режима позволяют значительно повысить достоверность оценки растений по засухоустойчивости. Цель исследований состоит в изучении водного режима растений озимой мягкой пшеницы в условиях острой засухи и отборе перспективных образцов для селекции на засухоустойчивость. Материалом для исследования послужили 7 сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Исследования проводили в 2017–2019 гг. на экспериментальной площадке (засушник) лаборатории физиологии растений в условиях острой засухи 30% ПВ. По результатам исследований выделены сорта Жаворонок, Вольница и Вольный Дон, которые характеризуются наибольшим приростом водопоглощающей способности (от 40,0 до 41,1%), минимальным увеличением водного дефицита (1,3–2,1%) и наименьшим снижением общей оводненности тканей (3,2–3,8%) в процессе усиления засухи благодаря адаптивности к условиям водного стресса. Данные образцы рекомендуется вовлекать в селекционный процесс, направленный на создание засухоустойчивых сортов озимой мягкой пшеницы.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, сорт, водный режим, водопоглощающая способность, оводненность, засухоустойчивость.

Для цитирования: Голубова В.А., Газе В.Л. Изучение механизмов регуляции воды в растениях сортов озимой мягкой пшеницы в условиях острой засухи // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 3–7. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-3-7.



THE STUDY OF THE WATER REGULATION MECHANISMS IN THE WINTER BREAD WHEAT VARIETIES UNDER AN ACUTE DROUGHT

V.A. Golubova, Candidate of Biological Sciences, researcher of the laboratory for plant physiology, Valya_17@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-5340-4901;

V.L. Gaze, junior researcher of the laboratory for plant physiology, ORCID ID: 0000-0002-4618-6125
Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Water regime of plants, characteristic of a certain variety, largely determines the resistance of plants to drought. Drought affects, first of all, such indicators as water absorption capacity, water retention capacity, water deficit and changes in total water content in the process of ontogenesis. Studying and taking into account a number of parameters of water regime can significantly increase the reliability of the assessment of plants for drought resistance. The purpose of the current study was to investigate the water regime of the winter bread wheat varieties under an acute drought and to select promising samples for breeding for drought resistance. The objects for the study were 7 winter bread wheat varieties developed by the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy". The study was carried out on the experimental plot (zasushnik) of the laboratory for plant physiology under an acute drought of 30% PV in 2017–2019. According to the study results, there have been identified the varieties 'Zhavoronok', 'Volnitsa' and 'Volny Don', which were characterized by the largest increase in water-absorbing capacity (from 40.0 to 41.1%); by a minimum increase in water deficit (1.3–2.1%); by the smallest decrease (3.2–3.8%) in the total water content in fibers due to adaptability to water stress conditions in spite of increasing drought. There has been recommended to introduce these samples into the breeding process aimed at developing drought-resistant winter bread wheat varieties.

Keywords: winter bread wheat, variety, water regime, water absorption capacity, water content, drought resistance.

Введение. Одним из важнейших требований при формировании агроценозов является адаптация растений к условиям окружающей среды. Основной задачей селекции сельскохозяйственных культур является создание новых

устойчивых к засухе генотипов, превосходящих по своим биологическим и хозяйственно-ценным признакам и свойствам, выращиваемых в производственных посевах (Марченков и др., 2017; Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, 2007).

В связи с аридизацией климата в большинстве регионов России наблюдается учащение неблагоприятных периодов во время вегетации растений. Поэтому отбор селекционного материала только на высокую продуктивность может повлиять на снижение потенциальной урожайности сортов под влиянием жёстких агроклиматических условий (Лиховидова и Ионова, 2020; Budak et al., 2013).

При достаточно продолжительных и глубоких водных стрессах часто становятся необратимыми нарушения метаболических процессов, что приводит к значительному снижению продуктивности растений (Mir et al, 2012; Некрасова и др., 2020).

Засуха оказывает влияние на фотосинтез, дыхание, активность ферментов, ростовые процессы. Но основное влияние она оказывает на водный режим растений, а прежде всего, на такие показатели, как водопоглощающая способность, водоудерживающая способность, водный дефицит и изменение общей оводнённости в процессе онтогенеза (Осипова и др., 2020).

Водный режим растений, характерный для определенного сорта, во многом определяет устойчивость растений к засухе. Изучение и учет одновременно ряда параметров водного режима позволяют значительно повысить достоверность оценки растений по засухоустойчивости (Шаманин и др., 2016).

Цель исследований состоит в изучении водного режима растений озимой мягкой

пшеницы в условиях острой засухи и отборе перспективных образцов для селекции на засухоустойчивость.

Материалы и методы исследований.

Материалом для исследования послужили 7 сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Работу проводили в 2017–2019 гг. на экспериментальной площадке (засушник) лаборатории физиологии растений в условиях острой засухи 30% ПВ. Листья отбирали в фазы колошения и цветения растений озимой мягкой пшеницы. Оценивали водный режим растений по методике Г.В. Удовенко (1988), сорт-классификатор – Аскет.

Обработку информации выполняли с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Растения пшеницы реагируют на засуху морфологическими и физиологическими изменениями во всех частях растений. На клеточном уровне реакция растений на дефицит воды может привести как к повреждениям клеток, так и к проявлению адаптивных процессов.

Водопоглощающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы указывает на способность сортов поглощать и удерживать в порах и капиллярах воду. В среднем за годы исследований в фазу колошения данный показатель изменялся от 96,9 (Краса Дона) до 127,1% (Вольный Дон). У сорта-классификатора Аскет водопоглощающая способность имела значения 124,8% (рис. 1).

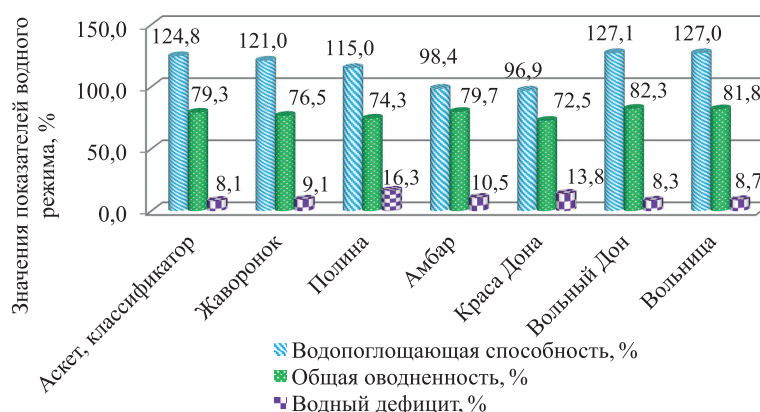


Рис. 1. Показатели водного режима листьев сортов озимой мягкой пшеницы в фазу колошения (2017–2019 гг.)

Fig. 1. Indicators of the water regime of the leaves of the winter bread wheat varieties in the heading phase (2017–2019)

По данному показателю достоверно превысили сорт-классификатор Аскет сорта Вольница (127,0%) – на 2,2% и Вольный Дон (127,1%) – на 2,3% ($HC_{05} = 1,7\%$).

Общая оводненность тканей листьев озимой мягкой пшеницы изменялась от 72,5 (Краса Дона) до 82,3% (Вольный Дон), у сорта-классификатора Аскет – 79,3%. Достоверное превышение значений данного показателя над значениями классификатора зафиксировано у сортов Вольница (81,8%) и Вольный Дон

(82,3%), превышение составило от 2,5 до 3,0% ($HC_{05} = 2,4\%$). Эти образцы характеризовались высоким уровнем общей оводнённости тканей листьев.

Засуха является результатом действия высоких температур, а также водного дефицита. Водный дефицит в тканях листьев возрастал из-за уменьшения общей оводнённости и варьировал в пределах 8,1 (Аскет, классификатор) – 16,3% (Полина). Самый низкий уровень дефицита влаги отмечен у сортов Аскет

(8,1%), Вольный Дон (8,3%), Вольница (8,7%) и Жаворонок (9,1%).

Развитие и сохранность растений в условиях засухи в значительной степени зависит

от обеспеченности клеток водой. Содержание воды в листьях изменялось от 59,7 (Вольный Дон) до 78,1% (Аскет) (табл. 1).

1. Содержание воды в листьях озимой мягкой пшеницы в фазу колошения (2017–2019 гг.) 1. Water content in the leaves of the winter bread wheat in the heading phase (2017–2019)

Сорт	Содержание воды в листьях, % от сырой массы	Утрачено воды листьями через 18 часов, %	Листья, восстановительный тургор, %	Время потери листьями 40 % воды
Аскет, сорт-классификатор	78,1	25,3	100,0	25 час 50 мин
Жаворонок	63,8	27,6	90,0	22 час 40 мин
Полина	62,6	33,8	82,0	22 час 00 мин
Амбар	59,8	37,6	73,0	20 час 50 мин
Краса Дона	66,8	32,6	77,0	21 час 30 мин
Вольный Дон	59,7	30,0	80,2	22 час 40 мин
Вольница	65,4	35,3	73,9	19 час 00 мин

Спустя 18 часов увядания листьями было утрачено от 25,3 до 37,6% влаги. Водоотдача имеет большое значение в качестве одной из характеристик засухоустойчивости растений. Она показывает разный характер изменений водоудерживающей способности листьев различных по засухоустойчивости сортов пшеницы при прогрессирующей засухе. В условиях недостаточного увлажнения, происходит усиление взаимодействия белков с водой, т. е. увеличение количества связанной воды, результатом чего является повышение стабильности цитоплазмы и увеличение водоудерживающей способности клеток, что позволяет растениям переносить длительную засуху. Последующее восстановление тургора показало у сортов Жаворонок и Аскет высокую репарацию (90,0–100,0%) с минимальными повреждениями листьев.

Изучаемые сорта за разный период времени от 19 часов 00 минут (Вольница) до 25 часов 50 минут (Аскет) в условиях искусственного увядания теряли критический процент содержания воды (40%). Наиболее медленная потеря воды отмечена у сортов Аскет (25 часов 50 минут), Жаворонок, Вольный Дон (22 часов 40 минут), Полина (22 часов 00 минут).

Водный стресс в репродуктивной стадии развития растений приводит к стерильности колосков пшеницы, во время цветения влияет в основном на размер зерна, а стресс в период развития пыльца молодой микроспоры влечет прерыванием развития и уменьшением количества зерен. В фазу цветения в среднем за годы исследований водопоглощающая способность тканей листьев озимой мягкой пшеницы увеличилась и находилась в пределах от 127,7 (Краса Дона) до 167,3% (Вольница) (рис. 2).

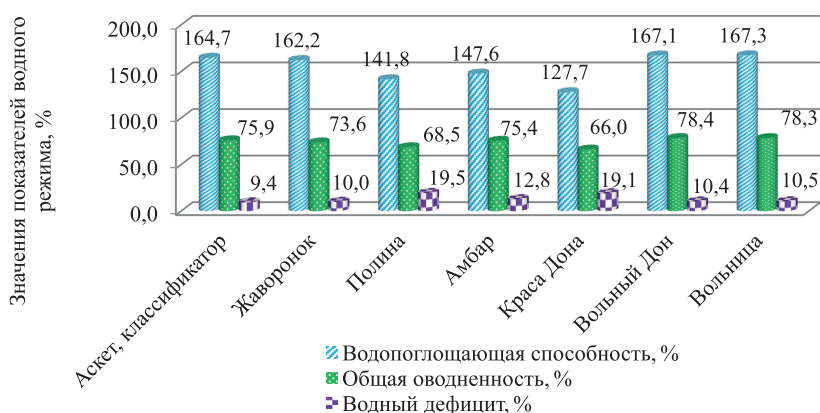


Рис. 2. Показатели водного режима листьев сортов озимой мягкой пшеницы в фазу цветения (2017–2019 гг.)
Fig. 2. Indicators of the water regime of the leaves of the winter bread wheat varieties in the flowering phase (2017–2019)

В фазу цветения выделились образцы, достоверно превысившие сорт-классификатор Аскет (164,7%) по значениям водопоглощающей способности такие, как Вольный Дон (167,1%) – на 2,4% и Вольница (167,3%) – на 2,6% ($HCp_{05} = 0,6\%$).

Общая оводненность листьев изменялась от 66,0% (Краса Дона) до 78,4% (Вольный Дон), у сорта-классификатора Аскет данный показатель составил 75,9%. Достоверное превышение значений этого показателя над классификатором Аскет зафиксировано у сортов Вольница

(78,3%) – на 2,4%, и Вольный Дон (78,4%) – на 2,5% ($HCP_{05} = 1,6\%$).

При нарастающей засухе к фазе цветения показатели дефицита влаги в тканях листьев сортов пшеницы находились в пределах 9,4 (Аскет, классификатор) – 19,5% (Полина). Наименьшим водным дефицитом характеризовались образцы Вольный Дон (10,4%), Вольница (10,5%) и Жаворонок (10,6%).

Содержание воды в листьях составляло 58,6–68,2% от сырой массы. Увядание в течение 18 часов привело к потере влаги листьями от 39,1 (Вольный Дон) до 55,8% (Амбар). Сорта Жаворонок и Аскет восстановили 90,0 и 98,0% тургора тканей листовых пластин соответственно (табл. 2).

2. Содержание воды в листьях озимой мягкой пшеницы в фазу цветения (2017–2019 гг.) 2. Water content in the leaves of the winter bread wheat in the flowering phase (2017–2019)

Сорт	Содержание воды в листьях, % от сырой массы	Утрачено воды листьями через 18 часов, %	Листья, восстановительный тургор, %	Время потери листьями 40% воды
Аскет, сорт классификатор	68,2	40,9	98,0	18 час 00 мин
Жаворонок	62,0	39,8	90,0	18 час 00 мин
Полина	62,2	44,5	86,0	17 час 30 мин
Амбар	65,8	55,8	79,0	16 час 10 мин
Краса Дона	58,6	42,6	79,0	18 час 10 мин
Вольный Дон	64,3	39,1	88,0	18 час 30 мин
Вольница	62,1	45,7	84,0	16 час 10 мин

В фазу цветения сорта более интенсивно теряли критический процент содержания воды (40%). Время потери было в пределах от 16 часов 10 минут (Амбар, Вольница) до 18 часов 30 минут (Вольный Дон).

Неблагоприятное действие засухи на растение зависит от продолжительности влияния водного дефицита и способности сортов управлять водным режимом в условиях стресса на протяжении всего онтогенеза. Нами проведена оценка изменения водопоглощающей способности, общей оводненности и водного

дефицита выделившихся сортов от фазы колошения к фазе цветения.

Выделены сорта Жаворонок, Вольница и Вольный Дон, которые характеризуются наибольшим приростом водопоглощающей способности (от 40,0 до 41,1%), минимальным увеличением водного дефицита (1,3–2,1%) и наименьшим снижением общей оводненности тканей (3,2–3,8%) при переходе от фазы колошения к фазе цветения, благодаря адаптивности к условиям водного стресса (табл. 3).

3. Характеристика сортов озимой мягкой пшеницы, выделившихся по показателям водного режима (2017–2019 гг.) 3. Characteristics of the winter bread wheat varieties, distinguished by the indicators of the water regime (2017–2019)

Сорт	Водопоглощающая способность, %			Водный дефицит, %			Общая оводненность, %		
	колошение	цветение	+ от фазы к фазе	колошение	цветение	+ от фазы к фазе	колошение	цветение	– от фазы к фазе
Аскет, сорт-классификатор	124,6	164,8	40,1	8,1	9,4	1,3	79,1	75,9	3,2
Жаворонок	122,0	163,1	41,1	9,1	10,6	1,3	76,5	73,6	3,2
Вольница	127,0	167,3	40,3	8,7	10,5	1,8	81,8	78,2	3,6
Вольный Дон	127,1	167,1	40,0	8,3	10,4	2,1	82,2	78,4	3,8

Выводы. Сущность адаптации растений к засухе сводится к обеспеченности клеток и тканей водой, к поддержанию структурной и функциональной целостности растительного организма, что обеспечивает рост и образование репродуктивных органов в условиях недостаточного водоснабжения. Понимание того, как растения используют воду в периоды засухи, имеет первостепенное значение для выявления и выбора наиболее адаптированных генотипов к неблагоприятным условиям среды. Поэтому для производства нужны сорта, экономно расходующие воду во вре-

мя засухи и хорошо отзывающиеся на увлажнение. По результатам исследований выделены сорта Жаворонок, Вольница и Вольный Дон, которые характеризуются наибольшим приростом водопоглощающей способности (от 40,0 до 41,1%), минимальным увеличением водного дефицита (1,3–2,1%) и наименьшим снижением общей оводненности тканей (3,2–3,8%), благодаря адаптивности к условиям водного стресса. Данные образцы рекомендуются вовлекать в селекционный процесс, направленный на создание засухоустойчивых сортов озимой мягкой пшеницы.

Библиографические ссылки

1. Лиховидова В.А., Ионова Е.В. Влияние засушливых условий выращивания на водный дефицит и содержание хлорофилла сортов озимой твердой пшеницы, различающихся по продуктивности // Аграрная наука. 2020. 5. С. 72–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>.
2. Марченков Л.А., Давыдова Н.В., Чавдарь Р.Ф. Оценка адаптивности сортов и линий яровой пшеницы на фоне искусственно моделируемых стрессов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 5(151). 2017. С. 9–15.
3. Некрасова О.А., Кравченко Н.С., Игнатьева Н.Г., Марченко, Д.М., Иванисов, М.М. Качество зерна сортов озимой мягкой пшеницы в зависимости от предшественника // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 31–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-31-35.
4. Осипова С.В., Рудиковский А.В., Пермяков А.В., Рудиковская Е.Г., Пермякова М.Д., Верхотуров В.В., Пшеничникова Т.А. Физиологические реакции линий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) с генетически различным опушением листа на водный дефицит // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. 24(8). С. 813–820. DOI 10.18699/VJ20.678.
5. Удовенко Г.В. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство). Всесоюзный НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова (ВИР), 1988. 228 с.
6. Шаманин В.П., Трущенко А.Ю., Пинкаль А.В. Проблема засухоустойчивости яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири и современные экспресс-методы её оценки в полевых условиях // Вестник НГАУ. 3(40) 2016. С. 57–64.
7. Budak H., Kantar M., Yucebilgili Kurtoglu, K. Drought tolerance in modern and wild wheat. Sci. World J., V. 2013. Article number 548246.
8. Mir R.R., Zaman-Allah M., Sreenivasulu N., Trethowan R., Varshney R.K. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. Theor. Appl. Genet., V. 125. 2012 p. 625–645.
9. Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. J. Expt. Bot, 58, 2007 p. 221–227. DOI: 10.1093/jxb/erl164.

References

1. Lihovidova V.A., Ionova E.V. Vliyanie zasushlivykh uslovij vyrashchivaniya na vodnyj deficit i sodержание hlorofilla sortov ozimoy tverdoj pshenicy, razlichayushchihsya po produktivnosti [The effect of dry growing conditions on water deficit and chlorophyll content of winter durum wheat varieties differing in productivity] // Agrarnaya nauka. 2020. 5. S. 72–75. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-72-75>.
2. Marchenkov L.A., Davydova N.V., CHavdar' R.F. Ocenka adaptivnosti sortov i linij yarovoj pshenicy na fone iskusstvenno modeliruemykh stressov [Estimation of the adaptability of spring wheat varieties and lines against the background of artificially simulated stresses] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 5(151). 2017. S. 9–15.
3. Nekrasova O.A., Kravchenko N.S., Ignat'eva N.G., Marchenko, D.M., Ivanisov, M.M. Kachestvo zerna sortov ozimoy myagkoj pshenicy v zavisimosti ot predshestvennika [Grain quality of winter bread wheat varieties depending on the forecrop] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 4(70). S. 31–35. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-31-35.
4. Osipova S.V., Rudikovskij A.V., Permyakov A.V., Rudikovskaya E.G., Permyakova M.D., Verhoturov V.V., Pshenichnikova T.A. Fiziologicheskie reakcii linij pshenicy (*Triticum aestivum* L.) s geneticheski razlichnym opushteniem lista na vodnyj deficit [Physiological reactions of wheat lines (*Triticum aestivum* L.) with genetically different leaf pubescence to water deficit] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2020. 24(8). S. 813–820. DOI 10.18699/VJ20.678.
5. Udoenko G.V. Diagnostika ustojchivosti rastenij k stressovym vozdejstviyam (metodicheskoe rukovodstvo) [Diagnostics of plant resistance to stress (methodological recommendations)]. Vsesoyuznyj NII rastenievodstva im. N.I. Vavilova (VIR), 1988. 228 s.
6. SHamanin V.P. Trushchenko A.YU., Pinkal' A.V. Problema zasuhoustojchivosti yarovoj myagkoj pshenicy v Zapadnoj Sibiri i sovremennye ekspress-metody eyo ocenki v polevykh usloviyah [The problem of drought resistance of spring bread wheat in Western Siberia and modern express methods for its estimation in the field] // Vestnik NGAU. 3(40) 2016. S. 57–64.
7. Budak H., Kantar M., Yucebilgili Kurtoglu, K. Drought tolerance in modern and wild wheat. Sci. World J., V. 2013. Article number 548246.
8. Mir R.R., Zaman-Allah M., Sreenivasulu N., Trethowan R., Varshney R.K. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. Theor. Appl. Genet., V. 125. 2012 r. 625–645.
9. Shinozaki K., Yamaguchi-Shinozaki K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. J. Expt. Bot, 58, 2007 r. 221–227. DOI: 10.1093/jxb/erl164.

Поступила: 6.07.2021; принята к публикации: 12.07.21.

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. Голубова В.А. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Газе В.Л. – проведение лабораторных опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ И ЛИНИЙ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ В КОНКУРСНОМ СОРТОИСПЫТАНИИ

Е.Г. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент по специальности, заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя, filippov.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;

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

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

И.М. Засыпкина, агроном, irinka_kolosok92@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1281-5317
ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Важная роль в увеличении производства зерна и повышении его качества принадлежит селекции. На современном этапе создание новых экологически пластичных сортов, способных более эффективно использовать климатические и почвенные ресурсы регионов их возделывания, весьма актуально. Целью исследований являлся анализ параметров экологической пластичности и стабильности сортов и линий конкурсного сортоиспытания (2018–2020 гг.) в условиях Ростовской области. В изучении использовали пять сортов (Тимофей, Ерема, Виват, Маруся, Фокс 1) и шесть линий (Паллидум 1899, Паллидум 1972, Параллелум 1976, Параллелум 1979, Параллелум 1980, Параллелум 1981) озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Посев осуществляли сеялкой Wintersteiger Plotseed, учетная площадь делянок – 10 м². Предшественник – горох. Размещение систематическое, количество повторений – 6. На формирование урожайности наибольшее влияние оказал фактор «год» – 97,07%. Анализ условий среды показал, что более благоприятные условия выращивания сложились в 2018 году ($I_j = +1,27$), а неблагоприятные – в 2019 году ($I_j = -1,62$). По урожайности стандарт превысили сорта Ерема (9,4 т/га; +0,7), Маруся (9,7 т/га; +1,0) и линия Паллидум 1972 (9,4 т/га; +0,7). Установлено, что повышенной стрессоустойчивостью обладали сорта Тимофей, Паллидум 1972, Параллелум 1979, Параллелум 1981, более высокой компенсаторной способностью – сорта Ерема, Маруся и линия Паллидум 1972. В результате анализа пластичности были выявлены отзывчивые сорта Ерема, Маруся, Фокс 1, а также линия Параллелум 1976 с показателями коэффициента линейной регрессии выше единицы. Стабильно высокой урожайностью обладали линии Паллидум 1972, Параллелум 1979, Параллелум 1981 и сорт Маруся. Высокий индекс стабильности (L) и показатель ПУСС были выявлены у линий Паллидум 1972, Параллелум 1979 и Параллелум 1981.

Ключевые слова: экологическая пластичность, стабильность, адаптивность, озимый ячмень, урожайность, сорт.

Для цитирования: Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Засыпкина И.М. Оценка экологической пластичности и стабильности перспективных сортов и линий озимого ячменя в конкурсном сортоиспытании // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 8–14. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-8-14.



ESTIMATION OF ECOLOGICAL ADAPTABILITY AND STABILITY OF PROMISING WINTER BARLEY VARIETIES AND LINES IN THE COMPETITIVE VARIETY TESTING

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

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

I.M. Zasyapkina, agronomist, irinka_kolosok92@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1281-5317
Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Plant breeding plays an important role in increasing grain production and improving its quality. Currently, the development of new ecologically adaptable varieties that can more effectively use the climatic and soil resources of the regions is of great importance. The purpose of the current study was to analyze the parameters of ecological adaptability and stability of varieties and lines of the competitive variety testing (2018–2020) in the Rostov region. There have been studied five winter barley varieties ‘Timofey’, ‘Erema’, ‘Vivat’, ‘Marusya’, ‘Foks 1’ and six winter barley lines ‘Pallidum 1899’, ‘Pallidum 1972’, ‘Pallidum 1976’, ‘Pallidum 1979’, ‘Pallidum 1980’, ‘Pallidum 1981’ developed by the FSBSI “ARC “Donskoy”. The sowing was carried out with a Wintersteiger Plotseed seeder, accounting plots area was 10 m². The forecrop was peas. The placement was systematic; the number of repetitions was 6. The factor ‘year’ had the greatest influence on the formation of productivity with 97.07%. The analysis of environmental conditions showed that there were more favorable growing conditions in 2018 ($I_j = +1.27$), and unfavorable ones in 2019

($l_j = -1.62$). The productivity of the varieties 'Erema' (9.4 t / ha; +0.7), 'Marusya' (9.7 t / ha; +1.0) and the line 'Pallidum 1972' (9.4 t / ha; +0.7) exceeded that of the standard variety. There has been established the varieties and lines 'Timofey', 'Pallidum 1972', 'Parallum 1979', 'Parallum 1981' had increased stress resistance. The varieties 'Erema', 'Marusya' and the line 'Pallidum 1972' had a higher compensatory ability. According to the analysis of adaptability, the varieties 'Erema', 'Marusya', 'Foks 1', as well as the line 'Parallelum 1976' were identified as responsive with linear regression coefficient values above one. The lines 'Pallidum 1972', 'Parallelum 1979', 'Parallelum 1981' and the variety 'Marusya' consistently produced high yields. The lines 'Pallidum 1972', 'Parallum 1979' and 'Parallum 1981' possessed high stability index (L) and PUSS index.

Keywords: ecological adaptability, stability, winter barley, productivity, yield, variety.

Введение. Ячмень – одно из старейших хлебных растений, возделывается во всех земледельческих областях земного шара. Широкий ареал ячменя обусловлен многими ценными его качествами. Благодаря высокой адаптивной способности его выращивают в самых крайних условиях: высоко в горах и на степных просторах, в условиях повышенного увлажнения или сухих степей (Железнов и др., 2013). Как скороспелая, засухоустойчивая и солевыносливая культура ячмень возделывается практически во всех регионах страны, легко приспосабливаясь к контрастным условиям климата и разнообразию почв (Злотина и др., 2013).

Для климатических условий Ростовской области характерным является смена факторов природной среды (суровые зимы, теплые зимы, разные типы засух, в отдельные годы переувлажнение, разный уровень плодородия почв и т.д.), такой контраст позволяет более точно оценить экологическую пластичность изучаемых сортов и выделить наилучшие, поэтому создание сортов с широким уровнем адаптивности имеет важное значение (Филиппов и др., 2016, 2019). Основным требованием, предъявляемым к сортам, является устойчивость к абиотическим и биотическим факторам среды (Sarkar, 2014).

Развитие современного сельского хозяйства направлено на получение стабильно высоких урожаев и производство семян высокого качества (Свиридова и др., 2016). Ряд объективных причин современного аграрного комплекса указывает на тот факт, что большую часть агроформирований необходимо ориентировать на более широкое внедрение экологически пластичных сортов (Левакова, 2019). В связи с глобальными климатическими изменениями последних лет остро стоит вопрос повышения адаптивного потенциала сельскохозяйственных культур. Необходимо создание сортов как с экологической адаптивностью, так и способностью формировать стабильный уровень урожайности в разные по гидротермическим условиям годы (Гудзенко, 2019). Анализируя данный показатель, реакцию сортов на неблагоприятные условия среды можно прогнозировать, что позволит полностью реализовать их потенциальную продуктивность (Радченко и др., 2018; Рыбась и др., 2018). В связи с приведенной концепцией, селекция озимого ячменя в современных условиях направлена на создание сортов, обладающих повышенной пластичностью, высокой и стабильной урожайностью, отличающихся низкими энерго- и ресурсоза-

тратами. Данное направление аналогично мировой ориентированности зернопроизводящих стран в растениеводстве на получение не максимальной, а оптимальной и стабильной по годам урожайности зерна (Левакова, 2016; Николаев и др., 2019).

В связи с этим целью работы было изучение сортов и линий озимого ячменя по параметрам адаптивности, экологической пластичности и стабильности, рассчитанным по признаку «урожайность».

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2018–2020 гг. в конкурсном сортоиспытании на полях научного севооборота отдела селекции и семеноводства ячменя Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» (ФГБНУ «АНЦ «Донской»). Объектом исследований являлись пять сортов и шесть линий озимого ячменя селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Предшественник – горох. Посев осуществляли сеялкой Wintersteiger Plotseed, учетная площадь делянок – 10 м². Размещение систематическое, количество повторений – 6. Норма высева – 450 всхожих зерен на 1 м². Стандартный сорт Тимофей («АНЦ «Донской», РФ) высевали через 10 номеров. Уборку проводили при достижении полной спелости зерна (14%) комбайном Wintersteiger.

Экологическую пластичность и стабильность сортов рассчитывали по методике S.A. Eberhart, W.A. Russell (1966) в редакции В.А. Зыкина (2005). Устойчивость к стрессу и компенсаторную способность сорта определяли по А.А. Rossielle, J. Hemblin в изложении А.А. Гончаренко (2005). Коэффициент отзывчивости на благоприятные условия выращивания (Кр.) определяли по методу В.А. Зыкина (2005), показатель уровня экологической стабильности и урожайности сорта (ПУСС) по Э.Д. Неттевичу (Сандухадзе и др., 2018), коэффициент вариации рассчитан по методике Б.А. Доспехова (2011).

За годы исследований наблюдалось значительное варьирование погодных условий по сравнению со средними многолетними данными, что позволило более детально оценить адаптивность, а также выделить лучшие сорта и линии озимого ячменя.

Для 2017–2018 сельскохозяйственно-го года характерным являлись влажный зимний период (188 мм осадков) и недостаточное количество влаги в весенний период (65 мм осадков – 13,8% от нормы) при повышенных среднемесячных температурах воздуха.

Условия 2018–2019 сельскохозяйственного года характеризовались чередованием осадков от оптимального до недостаточного количества по месяцам в течение всего периода вегетации при повышенных среднемесячных температурах воздуха. В июне наблюдалось заметное усиление засухливости. Так, при среднемесячной температуре воздуха 25,2 °C (+4,7 °C к среднемноголетней) количество выпавших осадков было всего 10,8 мм при среднемноголетнем показателе 71,3 мм. Фаза налива зерна ячменя проходила в неблагоприятных условиях (повышенный температурный режим, недостаток влаги, проявление суховейных явлений), что в дальнейшем сказалось на формировании урожайности.

Условия 2019–2020 сельскохозяйственного года отмечены повышенным температурным режимом в марте – +7,7 °C (+5,7 °C к среднемноголетней) и интенсивными осадками в мае – 79,9 мм (+28,9 мм к среднемноголетнему). Температурный режим в июне был выше среднемноголетней нормы на 2,6 °C, наблюдался недобор осадков – 38,8 мм (54,4% от нормы).

Результаты и их обсуждение. Урожайность – объективный достоверный интегрирующий параметр, определяющий ценность хозяйственных и биологических свойств сорта. Результаты проведенного двухфакторного анализа выявили достоверность и существенность влияния этих факторов (табл. 1).

1. Результаты дисперсионного анализа урожайности сортов озимого ячменя (2018–2020 гг.) 1. Results of analysis of variance of the winter barley varieties' productivity (2018–2020)

Фактор	Сумма квадратов	Степень свободы	Дисперсия	Критерий Фишера		Доля вклада, %
				F _{факт}	F ₀₅	
Общая	418,83	197	–	–	–	–
Повторения	13,38	5	2,68	–	–	–
Сорт (Фактор А)	30,26	10	3,03	7,97	1,92	2,04
Год (Фактор В)	288,39	2	144,19	379,45	3,09	97,07
Взаимодействие (А х В)	26,43	20	1,32	3,47	1,68	0,89
Остаток (ошибка)	60,37	160	0,38	–	–	–

Наибольший вклад в варьирование урожайности внесли условия года (фактор В) – 97,07%; доля влияния генотипа (сорт) (фактор А) составила 2,04%.

За годы исследований наблюдалось варьирование погодных условий по сравнению со средними многолетними данными, что повлияло на формирование урожайности и позволило более полно оценить показатели адаптивности, а также выделить лучшие сорта и линии озимого ячменя.

В 2018 году урожайность варьировала от 9,7 т/га у стандартного сорта Тимофей до 11,4 т/га у сорта Ерема. Стандарт достоверно превысили 5 изучаемых сортов и линий (Ерема, Виват, Маруся, Паллидум 1899, Параллелум 1976).

В 2019 году минимальная урожайность была получена у сорта Фокс 1 – 5,6 т/га, а мак-

симальная у линии Паллидум 1972 – 8,1 т/га при урожайности 7,5 т/га у стандарта. Сорт Маруся и линии Паллидум 1972, Параллелум 1979 достоверно превысили стандарт по урожайности.

В 2020 году минимальная урожайность получена у стандартного сорта Тимофей – 8,8 т/га, а максимальная у линии Паллидум 1976 – 9,9 т/га. Все сорта и линии, кроме Фокс 1, Параллелум 1979, Параллелум 1980, достоверно превысили стандарт. Необходимо отметить, что более благоприятные условия выращивания сложились в 2018 ($I_j = +1,27$) и в 2020 году ($I_j = +0,35$), а неблагоприятные – в 2019 ($I_j = -1,62$).

В таблице 2 представлены результаты оценки экологической пластичности за 2018–2020 годы исследований.

2. Средняя урожайность сортов и линий озимого ячменя и их экологическая пластичность (2018–2020 гг.) 2. Mean productivity of the winter barley varieties and lines of and their ecological adaptability (2018–2020)

Сорт	Средняя урожайность за годы исследований, т/га			ΣY_i^*	Y_i^*	b_i^*	$\sigma^2 d$
	2018	2019	2020				
Тимофей, ст.	9,7	7,5	8,8	26,0	8,7	0,76	0,05
Ерема	11,4	7,1	9,7	28,2	9,4	1,44	0,08
Виват	10,6	7,8	9,4	27,8	9,3	0,94	0,05
Маруся	11,2	8,0	9,9	29,1	9,7	1,11	0,04
Фокс 1	9,9	5,6	9,0	24,5	8,2	1,53	0,13
Паллидум 1899	10,5	7,6	9,7	27,8	9,2	1,03	0,05
Паллидум 1972	10,4	8,1	9,6	28,1	9,4	0,77	0,00
Параллелум 1976	10,5	7,3	9,9	27,6	9,2	1,16	0,13
Параллелум 1979	9,9	8,0	9,2	27,1	9,0	0,64	0,01
Параллелум 1980	10,3	7,6	9,1	27,0	9,0	0,89	0,05

Сорт	Средняя урожайность за годы исследований, т/га			ΣY_i^*	Y_i^*	b_i^*	$\sigma^2 d$
	2018	2019	2020				
Параллелум 1981	9,9	7,9	9,8	27,6	9,2	0,73	0,01
I_j^*	1,27	-1,62	0,35	—	—	—	—
HCP_{05}	0,7	0,4	0,5	—	—	—	—

* ΣY_i – сумма урожайности по годам; Y_i – средняя урожайность за годы исследований; I_j – индекс условий среды (характеризует изменчивость условий, в которых выращивали сорта в данном опыте); b_i – индекс коэффициента линейной регрессии (показывает отклик сорта на улучшение условий выращивания); $\sigma^2 d$ – среднеквадратическое отклонение (характеризует стабильность сорта в различных условиях среды).

Для расчета экологической пластичности использовали коэффициент линейной регрессии (b_i), который варьировал в пределах от 0,64 до 1,53, что позволило разделить сорта по категориям: от слабо отзывчивых ($b_i < 1$) до более отзывчивых ($b_i > 1$) на изменение условий среды. Высокая отзывчивость на улучшение условий выращивания отмечена у сортов Ерема ($b_i = 1,44$), Маруся ($b_i = 1,11$), Фокс 1 ($b_i = 1,53$) и линии Параллелум 1976 ($b_i = 1,16$), показывающая динамичное изменение урожайности с учетом изменения влияния природной среды на ее формирование.

Линии Паллидум 1972 ($\sigma^2 d = 0,00$), Параллелум 1979 и Параллелум 1981 ($\sigma^2 d = 0,01$) обладают самой стабильной урожайностью в различных условиях среды.

По утверждению А.А. Гончаренко, степень устойчивости сортов к неблагоприятным факторам определяется по разнице между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{min} - Y_{max}$). Данный показатель обладает

отрицательным значением и чем меньше интервал между минимальной и максимальной урожайностью, тем выше стрессоустойчивость сорта и его выносливость в неблагоприятных условиях среды. Повышенной стрессоустойчивостью характеризовались сорт Тимофей ($Y_{min} - Y_{max} = -2,2$) и линия Паллидум 1972 ($Y_{min} - Y_{max} = -2,3$), Параллелум 1979 ($Y_{min} - Y_{max} = -1,9$), Параллелум 1981 ($Y_{min} - Y_{max} = -2,0$).

Также определить реакцию сорта на условия выращивания можно, рассчитав компенсаторную способность. Она классифицируется средней урожайностью сорта в полярных условиях. Чем выше степень соответствия между сортом и факторами среды, тем выше этот параметр. Повышенные значения данного параметра отмечены у сортов озимого ячменя Ерема, Маруся и линии Паллидум 1972 ($(Y_{min} + Y_{max})/2 = 9,3, 9,6$ и $9,3$ т/га соответственно) (табл. 3).

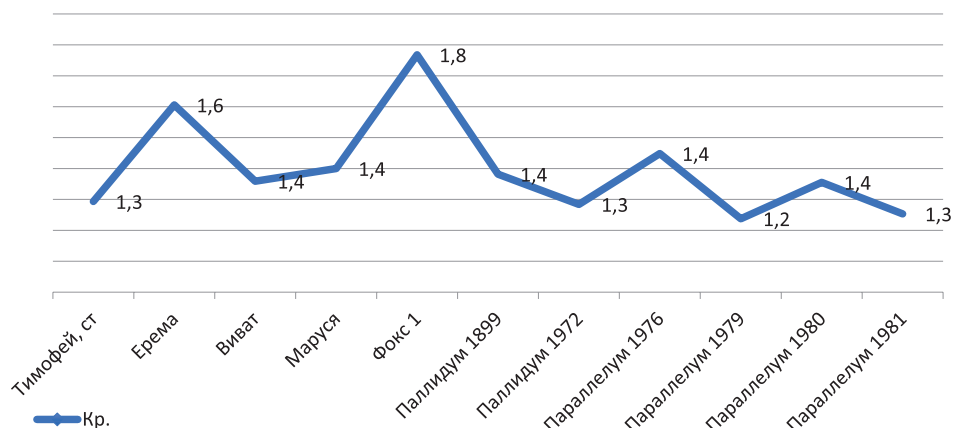
3. Урожайность и стрессоустойчивость сортов озимого ячменя (2018–2020 гг.) 3. Productivity and stress resistance of the winter barley varieties (2018–2020)

Сорт	Урожайность, т/га			Стрессоустойчивость	
	min	max	$\bar{x}$	$Y_{min} - Y_{max}$	$(Y_{min} + Y_{max})/2$
Тимофей, ст	9,7	7,5	8,7	-2,2	8,6
Ерема	11,4	7,1	9,4	-4,3	9,3
Виват	10,6	7,8	9,3	-2,8	9,2
Маруся	11,2	8,0	9,7	-3,2	9,6
Фокс 1	9,9	5,6	8,2	-4,3	7,8
Паллидум 1899	10,5	7,6	9,2	-2,9	9,1
Паллидум 1972	10,4	8,1	9,4	-2,3	9,3
Параллелум 1976	10,5	7,3	9,2	-3,3	8,9
Параллелум 1979	9,9	8,0	9,0	-1,9	9,0
Параллелум 1980	10,3	7,6	9,0	-2,7	9,0
Параллелум 1981	9,9	7,9	9,2	-2,0	8,9
S_x	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1

В.А. Зыкин рекомендовал для измерения степени адаптивности сорта использовать коэффициент отзывчивости на условия окружающей среды (K_p). Он определяется путем деления урожайности сорта, выращенного в благоприятной внешней среде, на урожайность этого же сорта, полученную в неблагоприятных условиях. Чем сильнее отличаются

друг от друга эти условия, тем информативнее данные можно получить (см. рисунок).

Согласно анализу результатов проведенных исследований, по отзывчивости на улучшение условий возделывания стандарт превышали в наибольшей степени сорта Ерема и Фокс 1 ($K_p = 1,6$ и $1,8$).



Коэффициент отзывчивости на улучшение условий выращивания сортов озимого ячменя (2018–2020 гг.)
Coefficient of responsiveness to the improvement of growing conditions of the winter barley varieties (2018–2020)

Образцы, приспособленные и наиболее адаптированные к данным условиям произрастания, обладают высоким индексом стабильности (L). Максимальный индекс стабильности отмечен у линии Паллидум 1972 (7,6), Параллелум 1979 (8,4) и Параллелум 1981 (7,5), линий оптимально подходят для условий выращивания в условиях юга Ростовской области.

В анализируемом нами опыте показатель уровня стабильности урожайности сорта (ПУСС), согласно методу Э.Д. Неттевича, изменялся от 40,8% (сорт Фокс 1) до 127,4 (линия

Параллелум 1979). ПУСС является комплексным показателем, поскольку позволяет одновременно учитывать уровень и стабильность урожайности и характеризует способность образца отзываться на улучшение условий выращивания, а при ухудшении – поддерживать достаточно высокий уровень продуктивности. Чем выше ПУСС, тем лучше сорт. Стандарт по уровню стабильности урожайности превысили линии Паллидум 1972, Параллелум 1979 и Параллелум 1981 (табл. 4).

4. Показатели адаптивности, стабильности и отзывчивости сортов и линий озимого ячменя (2018–2020 гг.)

4. Indicators of adaptability, stability and responsiveness of the winter barley varieties and lines (2018–2020)

Название сорта, линии	Средняя урожайность за 3 года, т/га ($\bar{x}$)	Стандартное отклонение (S)	Коэффициент вариации (CV), %	Индекс стабильности (L)	Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС), %
Тимофей, ст.	8,7	1,1	12,7	6,8	100,0
Ерема	9,4	2,2	23,0	4,1	64,4
Виват	9,3	1,4	15,1	6,2	96,2
Маруся	9,7	1,6	16,6	5,8	95,3
Фокс 1	8,2	2,2	27,7	3,0	40,8
Паллидум 1899	9,2	1,5	16,3	5,7	87,3
Паллидум 1972	9,4	1,2	12,4	7,6	119,5
Параллелум 1976	9,2	1,6	18,8	4,9	75,6
Параллелум 1979	9,0	1,0	10,7	8,4	127,4
Параллелум 1980	9,0	1,4	15,0	6,0	90,5
Параллелум 1981	9,2	1,0	12,2	7,5	116,1

Коэффициент вариации является объективным и достоверным при использовании в качестве показателя стабильности сортов. Согласно рекомендованной классификации на основе коэффициента вариации: при $10\% < CV < 20\%$ – средняя, при $CV \geq 20\%$ – сильная. За исследуемый период сильной изменчивостью признака обладали сорта Ерема и Фокс 1 ($CV = 23,0$ и $27,7$ соответственно), у остальных отмечена средняя изменчивость.

Выводы. На основании проведенных трехгодовых исследований были выделены отзыв-

чивые и стабильные сорта и линии озимого ячменя к условиям внешней среды.

Сорта Ерема, Фокс 1 и линия Параллелум 1976 выделились высокой отзывчивостью на улучшение условий выращивания.

Линии Паллидум 1972, Параллелум 1979, Параллелум 1981 дают стабильно высокую урожайность и могут показывать высокие результаты даже при неблагоприятных условиях среды, о чем свидетельствуют следующие показатели: низкий коэффициент вариации ($\sigma^2 d = 0,00 - 0,01$), высокая стрессоустойчивость

($Y_{min} - Y_{max} = \text{от } -1,9 \text{ до } -2,3$), высокий индекс стабильности (от 7,5 до 8,4) и показатель ПУСС (от 116,1 до 127,4). Таким образом, созданные новые линии имеют преимущество по продуктивности независимо от погодных условий.

Библиографические ссылки

1. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Россельхозакадемии. 2005. № 6. С. 49–53.
2. Гудзенко В.Н. Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка адаптивной способности и стабильности селекционных линий ячменя озимого // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 1. С. 110–118. DOI 10.18699/VJ19.469.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. Изд. 6-е, перепеч. с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс, 2011. 350 с.
4. Железнов А.В., Кукоева Т.В., Железнова Н.Б. Ячмень голозерный: происхождение, распространение и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 2. С. 286–297.
5. Злотина М.М., Ковалева О.Н., Лоскутов И.Г., Потокина Е.К. Использование аллель-специфичных маркеров генов PPD и VRN для прогнозирования продолжительности вегетационного периода сортов // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 1. С. 50–62.
6. Левакова О.В. Оценка адаптивного потенциала сортов ячменя // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2016. № 5. С. 44–45. <https://www.vestnik-rsn.ru/vrsn/article/view/288>.
7. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И. и др. Агробиологическая характеристика многолетних голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180(1). С. 37–43. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-38-43>.
8. Радченко Л.А., Ганоцкая Т.Л., Радченко А.Ф. Оценка адаптивных свойств озимой ржи при возделывании в условиях Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1(13). С. 74–79.
9. Рыбась И.А., Марченко Д.М., Некрасов Е.И., Иванисов М.М., Гричаникова Т.А., Романюкина И.В. Оценка параметров адаптивности сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4(58). С. 51–54. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54>.
10. Сандухадзе Б.И., Марченкова Л.А., Мамедов Р.З., Чавдарь Р.Ф., Орлова Т.Г., Бугрова В.В. Изучение адаптивности сортов озимой пшеницы на фоне искусственно создаваемых стрессов // Инновационные разработки по селекции и технологии возделывания сельскохозяйственных культур: мат. Междунар. науч. конференции, приуроченной к 90-летию со дня рождения академика Э.Д. Неттевича // М.: ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка», 2018. С. 109–114.
11. Свиридова О.В., Воробьев Н.И., Проворов Н.А., Орлова О.В., Русакова И.В., Андронов Е.Е., Пищик В.Н., Попов А.А., Круглов Ю.В. Выравнивание почвенных условий для развития растений при деградации растительных остатков микробными препаратами // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 664–672. doi: 10.15389/agrobiology.2016.5.664rus.
12. Филиппов Е.Г., Донцова А.А. Особенности селекции ячменя на Дону // Зерновое хозяйство России. 2016. № 1(43). С. 47–52.
13. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Брагин Р.Н. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов и линий озимого ячменя // Зерновое хозяйство России. 2018. № 2(56). С. 10–13.
14. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop. Sci. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40.
15. Sarkar B. Sharma R.C., Verma R.P.S., Sarkar A., Sharma I. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2014. No. 1(74). P. 26–33. DOI: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004.

References

1. Goncharenko A.A. Ob adaptivnosti i ekologicheskoy ustojchivosti sortov zernovykh kul'tur [On the adaptability and ecological sustainability of grain varieties] // Vestnik Rossel'hoz akademii. 2005. № 6. S. 49–53.
2. Gudzenko V.N. Statisticheskaya i graficheskaya (GGE biplot) ocenka adaptivnoy sposobnosti i stabil'nosti selekcionnykh linij yachmenya ozimogo [Statistical and graphic (GGE biplot) estimation of the adaptability and stability of breeding winter barley lines] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. T. 23. № 1. S. 110–118. DOI 10.18699/VJ19.469.
3. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of study results)]: uchebnik dlya studentov vysshikh sel'skohozyajstvennykh uchebnykh zavedenij po agronomicheskim special'nostyam. Izd. 6-e, perepech. s 5-go izd. 1985 g. Moskva: Al'yans, 2011. 350 s.
4. ZHeleznov A.V., Kukoeva T.V., ZHeleznova N.B. YAchmen' golozernyj: proiskhozhdenie, rasprostranenie i perspektivy ispol'zovaniya [Hull-less barley: origin, spread and prospects of use] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2013. T. 17. № 2. S. 286–297.
5. Zlotina M.M., Kovaleva O.N., Loskutov I.G., Potokina E.K. Ispol'zovanie allel'-specifichnykh markerov genov PPD i VRN dlya prognozirovaniya prodolzhitel'nosti vegetacionnogo perioda sortov [Use of allele-specific markers of the PPD and VRN genes to predict the growing season length of varieties] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2013. T. 17. № 1. S. 50–62.
6. Levakova O.V. Ocenka adaptivnogo potentsiala sortov yachmenya [Estimation of the adaptive potential of barley varieties] // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2016. № 5. S. 44–45. <https://www.vestnik-rsn.ru/vrsn/article/view/288>.

7. Nikolaev P.N., YUsova O.A., Anis'kov N.I. i dr. Agrobiologicheskaya harakteristika mnogoryadnyh golozernykh sortov yachmenya selekcii Omskogo ANC [Agrobiological characteristics of multi-row hull-less barley varieties developed by the Omsk ARC] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2019. № 180(1). S. 37–43. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-1-38-43>.
8. Radchenko L.A., Ganockaya T.L., Radchenko A.F. Ocenka adaptivnykh svoystv ozimoy rzhi pri vozdeleyvanii v usloviyakh Kryma [Estimation of the adaptive properties of winter rye when cultivating in the Crimea] // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2018. № 1(13). S. 74–79.
9. Rybas' I.A., Marchenko D.M., Nekrasov E.I., Ivanisov M.M., Grichanikova T.A., Romanyukina I.V. Ocenka parametrov adaptivnosti sortov ozimoy myagkoj pshenicy [Estimation of adaptability parameters of winter bread wheat varieties] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 4(58). S. 51–54. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-51-54>.
10. Sanduhadze B. I., Marchenkova L. A., Mamedov R. Z., CHavdar' R.F., Orlova T.G., Bugrova V.V. Izuchenie adaptivnosti sortov ozimoy pshenicy na fone iskusstvenno sozdavaemykh stressov [The study of the adaptability of winter wheat varieties against the background of artificially created stresses] // Innovacionnye razrabotki po selekcii i tekhnologii vozdeleyvaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur: mat. Mezhdunar. nauch. konferencii, priurochennoj k 90-letiyu so dnya rozhdeniya akademika E. D. Nettevicha // M.: FGBNU «FIC «Nemchinovka», 2018. S. 109–114.
11. Sviridova O.V., Vorob'ev N.I., Provorov N.A., Orlova O.V., Rusakova I.V., Andronov E.E., Pishchik V.N., Popov A.A., Kruglov YU.V. Vyravnivanie pochvennykh uslovij dlya razvitiya rastenij pri destrukcii rastitel'nykh ostatkov mikrobnymi preparatami [Equalization of soil conditions for plant development during the destruction of plant residues by microbial preparations] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2016. T. 51. № 5. S. 664–672. doi: 10.15389/agrobiology.2016.5.664rus.
12. Filippov E.G., Doncova A.A. Osobennosti selekcii yachmenya na Donu [Features of barley breeding on the Don land] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2016. № 1(43). S. 47–52.
13. Filippov E.G., Doncova A.A., Bragin R.N. Ocenka ekologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti sortov i linij ozimogo yachmenya [Estimation of ecological adaptability and stability of winter barley varieties and lines] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 2(56). S. 10–13.
14. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop. Sci. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 36–40.
15. Sarkar B. Sharma R.C., Verma R.P.S., Sarkar A., Sharma I. Identifying superior feed barley genotypes using GGE biplot for diverse environments in India // Indian Journal of Genetics and Plant Breeding. 2014. No. 1(74). P. 26–33. DOI: 10.5958/j.0975-6906.74.1.004.

Поступила: 22.06.21; принята к публикации: 13.07.21.

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. Филиппов Е.Г. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Донцова А.А. – выполнение полевых опытов, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Донцов Д.П., Засыпкина И.М. – выполнение полевых опытов и сбор данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СЕЛЕКЦИЯ СУХОДОЛЬНОГО РИСА НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ (ОБЗОР)

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

А.В. Аксенов, агроном лаборатории селекции и семеноводства риса,

ORCID ID: 0000-0002-6641-878X

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Суходольный рис, выращиваемый рисоводами, является самой низкопродуктивной системой производства риса. Стресс от засухи является наиболее серьезным абиотическим ограничением для суходольного риса. Повышение продуктивности риса в таких экосистемах имеет большое значение для удовлетворения потребностей населения в продовольственной безопасности риса. В этом контексте разведение засухоустойчивого риса становится все более важной задачей. Многочисленные второстепенные признаки были предложены, чтобы помочь селекционерам растений в их отборе, но большинство из этих признаков не используется в селекции, поскольку они не практичны для селекционных целей, демонстрируют низкую наследуемость или не очень коррелируют с урожайностью зерна. Было показано, что стандартизация скрининга засухи повышает наследуемость урожая при стрессе до значений, аналогичных полученным для урожая в хорошо обводненных условиях. В настоящее время доказано, что засухоустойчивые сорта могут быть выведены путем прямого отбора по урожайности в стрессовых условиях. В настоящее время у риса идентифицировано много локусов количественных признаков (QTL) засухоустойчивости, но лишь немногие из них пригодны для использования в маркерной селекции. Однако выявленные гены большой устойчивости к засухе можно эффективно использовать в селекции на засухоустойчивость. Использование молекулярных маркеров позволит повысить результативность селекционной работы. В обзоре кратко рассматриваются значение риса, его различные производственные системы, а также влияние стресса от засухи на производство риса. Обсуждаются физиологические механизмы, способствующие поддержанию урожайности зерна в условиях засухи, а также анализируются методы селекции для повышения засухоустойчивости.

Ключевые слова: суходольный рис, засуха, маркер, селекция.

Для цитирования: Костылев П.И., Аксенов А.В. Селекция суходольного риса на засухоустойчивость (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 15–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-15-22.



UPLAND RICE BREEDING FOR DROUGHT TOLERANCE (REVIEW)

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

A.V. Aksenov, agronomist of the laboratory for rice breeding and seed production,

ORCID ID: 0000-0002-6641-878X

Agricultural Research Center "Donskoy",

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

Upland rice grown by rice farmers is having the lowest productivity in the rice production system. Drought stress is the most severe abiotic constraint for upland rice. The improvement of rice productivity in such ecosystems is essential to meet the food security needs of the population. Therefore, the cultivation of drought tolerant rice is becoming an increasingly important task. Numerous minor traits have been proposed to assist plant breeders in their selection, but most of these traits are not used in breeding because they are not practical for breeding purposes, have low heritability, or are not very correlated with grain productivity. There has been shown, that standardization of drought screening improves heritability under stress to the values similar to those obtained for the yields under well-watered conditions. Nowadays there has now been proven that drought-resistant varieties can be developed by direct selection for productivity under stressful conditions. Currently, there have been identified many quantitative trait loci (QTL) of drought tolerance in rice, but only a few of them are suitable for use in marker breeding. However, the identified genes of great drought tolerance can be effectively used in breeding for drought tolerance. The use of molecular markers will improve the efficiency of breeding work. The current review has briefly considered the importance of rice, its various production systems, and the impact of drought stress on rice production. There have been discussed the physiological mechanisms contributing to the maintenance of grain productivity under drought conditions, and there have been analyzed the breeding methods for improvement of drought resistance.

Keywords: upland rice, drought, marker, breeding.

Введение. Общепринятое растениеводцами определение засухи – это нехватка воды, вызывающая потерю урожая, или период отсутствия осадков или орошения, которые влияют на рост сельскохозяйственных культур (Fukai et al., 1995). Было подсчитано, что в мире 25% полей, используемых для производства суходольных

культур, подвержены снижению урожайности в результате засухи. Таким образом, засуха оказывает серьезное воздействие на мировое сельское хозяйство. Селекция растений – это лишь один из инструментов ослабления стресса от засухи. Однако засухоустойчивые сорта, выведенные путем селекции растений, явля-

ются более доступными для фермеров, чем дорогостоящие агрономические методы или усовершенствование ирригации, которые могут потребовать больших инвестиций.

Рис – одна из самых важных культур в мире, имеет эволюционную особенность быть полуводным. В результате рис имеет относительно небольшую адаптацию к ограниченному водным условиям и очень страдает от засухи (Lafitte et al, 2006). Современные сорта риса очень чувствительны к засухе на стадии всходов, кущения, цветения и созревания, поэтому даже умеренный стресс от засухи может привести к значительному снижению урожайности риса (Torres and Henry, 2016).

Цель работы – определить современное состояние селекции суходольного риса на засухоустойчивость.

Рис и питание человека. Рис – это одна из главных культур, непосредственно используемых человеком в пищу, на него приходится 23% мирового потребления калорий. Всего за 2020 год во всем мире на 167 млн га было произведено почти 784 млн тонн риса. Лидерами среди производителей являются Китай, Индия, Индонезия, Бангладеш и Вьетнам. Россия занимает 35 место, она производит чуть более 1 млн тонн риса в год. Основное производство риса в России сосредоточено на юге страны в Краснодарском крае, Ростовской и Астраханской областях, Калмыкии, Дагестане, Дальнем Востоке. К 2030 году население Земли достигнет 8 миллиардов человек и поэтому в ближайшие годы необходимо дополнительно увеличить производство риса.

Рисовые экосистемы и их гидрологический статус. Рисовые экосистемы обычно подразделяются на 4 типа: орошаемые, глубоководные, дождевые на низменностях и дождевые на возвышенностях (суходольные).

Орошаемый рис является наиболее распространенной экосистемой, занимающей 55% мировой площади, где производится 75% зерна. Орошаемое рисоводство использует хорошо дренированные плодородные почвы, которые не подвержены засухе или наводнениям.

Глубоководный рис высаживают в районах, которые естественным образом затопляются на глубину более 50 см в течение длительного периода в сезон дождей, когда уровень воды повышается и остается высоким до конца вегетационного периода. Он составляет 8% общей площади выращивания риса (Atlin et al., 2006).

Низинный рис является второй по значимости рисовой экосистемой, занимающей около 25% от общей площади производства риса. Поля не получают искусственного орошения. Главным признаком низинного поля является окружающий его валик, позволяющий собирать воду из дождевых осадков, или дренаж с более высокими полями в водоразделе (Atlin et al., 2006).

Суходольный дождевой рис выращивают на полях, где хороший дренаж почвы или неровная поверхность земли делают невозмож-

ным накопление воды. Такой рис обычно выращивают в системах, где вносят мало удобрений или вообще их не применяют, и непосредственно высевает в ненасыщенную водой почву. Наиболее традиционные суходольные сорта риса малоурожайны и склонны к полеганию, но они приспособлены к незатопленным почвам. Суходольный рис является самой низко продуктивной экосистемой и занимает 12% мировой площади производства риса (Atlin et al., 2006).

В последнее время в IRRI (Филиппины), Бразилии и ряде азиатских стран были выведены улучшенные сорта суходольного риса с более высоким индексом урожайности, улучшенной отзывчивостью на применяемые ресурсы и, следовательно, более высоким потенциалом урожайности. Такие сорта «аэробного риса» сочетают воздушную адаптацию корней традиционных суходольных сортов с устойчивостью к полеганию и потенциалом урожайности орошаемых сортов (Arrau deau, 1995). Аэробный рис может заменить орошаемый рис и дождевой низинный рис в некоторых частях мира, столкнувшихся с сокращением запасов воды для сельского хозяйства.

В орошаемых и глубоководных рисовых экосистемах нехватки воды обычно не возникает, но как в богарных системах возделывания на возвышенностях, так и в низинных системах земледелия стресс от засухи часто является наиболее важным абиотическим стресс-фактором, ограничивающим урожайность (Babu et al. 2003). Горный суходольный рис, как правило, более подвержен засухе, чем низинный рис, поскольку в этой системе отсутствует накопление воды на полях из-за отсутствия валиков и неровного, наклонного рельефа (Babu et al., 2003).

Снижение воздействия засухи. Общеизвестно, что рис – культура, подверженная засухе, что частично объясняется его небольшой корневой системой, быстрым закрытием устьиц и старением листьев во время умеренного водного стресса.

Засухоустойчивость – это сложный количественный признак со сложным фенотипом, который влияет на разные стадии развития растений. Уровень восприимчивости или толерантности риса к засушливым условиям координируется действием различных генов чувствительности к засухе, которые в зависимости от компонентов стресса стимулируют пути передачи сигнала (Yusuff et al., 2019).

Рис, как и другие культуры, потенциально может противостоять стрессу от засухи, используя четыре различных стратегии: уход от засухи, предотвращение засухи, устойчивость к засухе и восстановление после засухи (Luo, 2010). Правильный выбор времени жизненного цикла, приводящий к завершению наиболее чувствительных стадий развития при изобилии воды, считается стратегией ухода от засухи. Уход от засухи за счет использования более скороспелых сортов часто является

предпочтительным методом повышения потенциала урожайности (Pantuwan et al., 2002).

Механизмы предотвращения засухи и обеспечения устойчивости необходимы в ситуациях, когда время засухи в большинстве случаев непредсказуемо. Избежать стресса из-за дефицита воды с помощью корневой системы, способной извлекать воду из глубоких слоев почвы, или за счет снижения суммарного испарения без ущерба для урожайности считается средством предотвращения засухи. Эти механизмы могут быть выражены даже в отсутствие стресса и тогда считаются определяющими (Price, 2002).

Такой процесс, как осмотическая регуляция, при которой растение поддерживает тургорное давление клеток при пониженном водном потенциале почвы, классифицируется как механизм устойчивости к засухе. Механизмы засухоустойчивости являются результатом реакции, вызванной самим стрессом от засухи, и поэтому считаются адаптивными (Hazen et al., 2005).

Восстановление после засухи относится к восстановительной способности растения после периода сильного засушливого стресса, который вызывает полную потерю тургора и высыхание листьев (Luo, 2010).

Уход от засухи с помощью раннеспелых сортов. В засушливых районах Восточной Индии и Бангладеш уход от засухи является важным механизмом, позволяющим рису формировать зерно, несмотря на ограниченную доступность воды. В этом регионе начало сезона дождей обычно приходится на июнь, а уход может произойти уже в конце сентября. Раннеспелые сорта типа **Aus** обычно используются на суходольных полях в этом регионе, некоторые из них могут созреть всего за 80 дней. Такие сорта избегают губительной засухи, но они не обязательно считаются засухоустойчивыми. Однако следует отметить, что некоторые сорта **Aus** также обладают хорошими характеристиками засухоустойчивости. Группа **Aus** включает сорта, адаптированные ко всему спектру рисовых экосистем, и может использоваться на различных полях, от орошаемых до подверженных засухе (Swain et al., 2017).

Стратегии предотвращения засухи. Сравнение корневой системы риса с другими зерновыми культурами показывает, что корни риса очень плохо приспособлены к нехватке воды. Было показано, что глубокая корневая система позволяет суходольному рису извлекать больше воды из почвы, что приводит к повышению урожайности при засухе (Maskill et al., 2003).

Глубина проникновения корней показала среднюю положительную корреляцию ($r = 0,38$) с урожайностью зерна в условиях стресса у риса. Сорта с высоким соотношением массы глубоко расположенных корней к массе побегов проявляют повышенную засухоустойчивость у суходольного риса (Venuprasad et al., 2007).

Одним из основных механизмов уменьшения последствий засухи является раннее закрытие устьиц в начале периода дефицита воды. Устойчивое закрытие уменьшает потерю воды, но также уменьшает газообмен между растением и окружающим воздухом. Уменьшенное потребление CO_2 приводит к снижению фотосинтеза, поэтому такой механизм полезен для улучшения выживаемости растений в условиях засухи, но также связан с уменьшением урожайности. Раннее закрытие устьиц может быть желательным при некоторых обстоятельствах, но не там, где засухи короткие, частые и относительно мягкие. У риса были зарегистрированы значительные генетические вариации чувствительности устьиц к водному статусу листьев (Price, 2002).

Признаки толерантности к засухе. Когда растение обнаруживает дефицит воды, оно может накапливать различные осмотически активные соединения, такие как аминокислоты, сахара внутри своих клеток, что приводит к снижению осмотического потенциала клетки. Вода, присутствующая в межклеточных пространствах, затем проникает внутрь клеток. Этот процесс, названный «осмотической регуляцией» (OR), был предложен в качестве потенциального фактора, который мог бы позволить растениям поддерживать тургор и лучше выживать при низком водном статусе. Однако было доказано, что осмотическая регуляция не позволяет растению извлекать много дополнительной воды из почвы и это может привести к потере урожайности. Осмотическая адаптация может способствовать повышению засухоустойчивости за счет накопления низкомолекулярных органических веществ в корнях, что будет поддерживать или усиливать развитие корней в более глубоких слоях почвы, увеличивая количество доступной воды для использования растениями (Nguyen et al., 1997).

Другой признак – это стабильность процессов цветения. Стресс от засухи, возникающий в начале репродуктивной стадии, обычно приводит к задержке цветения. Это происходит главным образом из-за замедленного удлинения метелки и поддерживающих ее тканей. Этот признак может быть эффективным механизмом предотвращения засухи, если период дефицита воды короткий, так как удлинение метелки возобновляется после снятия короткого периода стресса. Однако если цветение задерживается более чем на несколько дней, то обычно происходят серьезные потери урожая. Чем больше задержка цветения, тем больше стерильность колосков и снижение урожайности и индекса урожая из-за засухи. Таким образом, повышение засухоустойчивости может включать отбор растений, у которых из-за засухи наблюдается незначительная задержка цветения или она вообще отсутствует (Pantuwan et al., 2002). При выведении сортов для производства с использованием сберегающих воду методов орошения или для дождевых полей, которые часто засушливы, создание

сортов, которые не проявляют задержки цветения в условиях не насыщенной водой почвы, может быть важной и достижимой селекционной задачей (Lafitte et al., 2006).

Селекция на засухоустойчивость суходольного риса. Программы селекции риса, ориентированные на устойчивость к засухе, малоэффективны (Fukai et al., 1995). Это можно объяснить тем, что устойчивость к засухе является признаком, контролируемым многими генами, имеющими различные эффекты, и зависит от времени засухи и ее тяжести. Другой способ объяснить сложность засухи заключается в том, что устойчивость к засухе предполагает взаимодействие между многими генами, участвующими в формировании урожайности, и генами устойчивости к засухе (Price, 2002). Однако значительная часть причин отсутствия прогресса в этой области может быть объяснена просто отсутствием инвестиций, которые были вложены в скрининг засухоустойчивости в рамках программ создания сортов. Немногие программы прямо включают этап скрининга засухоустойчивости в качестве части своей обычной селекционной деятельности, несмотря на значительные усилия, которые были предприняты в области генетического и физиологического анализа признаков, связанных с генотипическими различиями в засухоустойчивости. Многие фермеры, выращивающие суходольный рис, используют традиционные малоурожайные сорта (Swain et al., 2017).

Отбор засухоустойчивого суходольного риса. На большинстве суходольных рисовых полей засухи непредсказуемы и не будут происходить каждый год. Рисоводы не готовы пожертвовать потенциалом урожайности ради повышения урожайности в засушливые годы. Поэтому селекционеры должны подбирать сорта, способные давать хорошую урожайность, как в благоприятные, так и в неблагоприятные годы. Селекционеры десятилетиями обсуждали критерии отбора, которые должны использоваться для получения высокой урожайности, как в стрессовых, так и в обычных условиях. Существуют три основных селекционных цели, которые могут привести к повышению урожайности зерна в условиях засухи: 1) увеличение потенциала урожайности как такового, 2) своевременное цветение в период, когда имеет вода, и 3) повышение устойчивости к засухе (Mackill et al., 2003).

Скрининг на повышенный потенциал урожайности обычно проводится в идеальных условиях. Такая селекционная среда будет способствовать повышению урожайности в условиях засухи, если урожайность в условиях засухи и урожайность в условиях хорошо увлажненных земель будут положительно коррелировать. Обычно это происходит в условиях умеренной и даже сильной засухи на рисовых полях (Venuprasad et al., 2007).

Atlin G.N. et al. (2006) показали, что даже в тех случаях, когда средняя разница в урожайности между стрессовыми и нормальными услови-

ями составляет более 50%, средние значения генотипов имеют тенденцию к положительной корреляции между уровнями урожайности в популяциях рекомбинантных инбредных линий. Это объясняется тем, что большие различия между генотипами по высоте и индексу урожайности часто проявляются как в стрессовой, так и в обычной среде. Таким образом, отбор по потенциальной урожайности является важным элементом в создании сортов, которые дают приемлемые урожаи при умеренном уровне стресса.

Отбор генотипов, завершающих свое цветение до наступления водного стресса, возможен, если сроки засухи предсказуемы и окончательны. Это относится к позднему сезону стресса во многих районах, где муссоны имеют тенденцию уходить предсказуемо и резко. Однако во многих районах, где выращивается суходольный рис, кратковременные периоды засухи, особенно в период цветения, происходят непредсказуемо в середине муссона. В этих районах большое значение имеют засухоустойчивые сорта.

В богарных рисовых системах стресс от засухи может возникнуть на любой стадии роста и вызвать значительное снижение урожайности. В последние годы были выведены некоторые сорта риса, устойчивые к стрессу засухи на репродуктивной стадии. Однако устойчивость к засухе на вегетативной стадии также необходима. Эти признаки редко совмещаются в одном сорте, но удалось выделить генотипы IR22667-16-1-BB-3, IR78908-126-B-2-B и IR79970-B-47-1, которые показали устойчивость к засухе и на вегетативной, и на репродуктивной стадиях (Swain et al., 2017).

Засухоустойчивость повышается либо в том случае, если рис имеет возможность получать больше воды, либо в том случае, если он может более эффективно использовать имеющуюся воду (более высокая эффективность транспирации). Отбор образцов, устойчивых к засухе, может быть осуществлен путем измерения урожайности в стрессовых условиях и/или измерения вторичного признака, коррелирующего с урожайностью в стрессовых условиях. Вторичный признак полезен в селекции только в том случае, если он является недорогим для измерения, высоко коррелирует с урожайностью в условиях засухи и если он показывает более высокую наследуемость, чем сама урожайность в условиях стресса (Mackill et al., 2003).

Прямой отбор на урожайность в условиях засушливого стресса. Прямой отбор на урожайность в благоприятных или ограниченных водой условиях – это стратегия отбора, которая наиболее часто используется селекционерами зерновых культур для повышения урожайности в условиях ограниченных запасов воды. Этот метод все чаще используется, поскольку засухоустойчивость признается важным признаком для улучшения качества риса (Fukai et al., 1995). Несмотря на это,

прямой отбор по урожайности в условиях засухи создает проблемы, создание засушливого стресса в полевых условиях является сложной задачей для управления и осадки всегда могут происходить в нежелательные моменты, даже в засушливый сезон. У суходольного риса засуха обычно позволяет четко дифференцировать устойчивые и восприимчивые линии на основе урожайности только в том случае, если она снижает урожайность, по меньшей мере, на 70–80% от обычной урожайности при благоприятных условиях. При более низких уровнях стресса урожайность может быть более тесно связана с потенциалом урожайности, чем с устойчивостью к засухе (Venuprasad et al., 2007). Было показано, что прямой отбор по урожайности при стрессе приводит к значительно повышению стрессоустойчивости суходольного риса. Прямой отбор по урожайности при управляемом стрессе в сочетании с параллельным отбором по потенциальной урожайности является эффективным подходом к созданию стрессоустойчивых суходольных сортов риса (Atlin et al., 2006).

Вторичные признаки, наиболее часто используемые рисоводами. Объединение селекции на основе урожайности с вторичными признаками в селекционные индексы может улучшить ответ на отбор, если физиологические процессы, способствующие повышению урожайности зерна в целевой среде, хорошо изучены и если вторичные признаки легко определяются визуально и могут быть многократно и недорого измерены. Количество дней до цветения обычно измеряется как в стрессовых, так и в нормальных условиях. Отбор можно проводить для линий с идеальными сроками созревания в условиях хорошего увлажнения и без большой задержки цветения в условиях засухи. Отбор линий, которые сохраняют высокую плодovitость колосков и низкую скорость высыхания листьев в условиях засухи, также распространен. Задержка цветения и фертильность колосков имеют умеренную наследуемость и высокую корреляцию с урожайностью зерна при стрессе на стадии цветения (Lafitte et al., 2006). Водный потенциал листьев в стрессовых условиях является признаком, который сильно коррелирует со стерильностью колосков и урожайностью зерна ($r = 0,69$), когда стресс от засухи был во время цветения (Maskill et al., 2002).

Характеристики корня реже используют селекционерами в качестве вторичных селекционных признаков, поскольку корневую систему сложно изучить. Структура корневой системы сильно зависит от среды и условий выращивания. Отбор растений риса с лучшей корневой системой может повысить потенциал поглощения питательных веществ и конкурентоспособность с сорняками на суходоле (Price, 2002).

Максимизация эффективности селекционных программ по засухоустойчивости. Учитывая сложность засухи, нужны разработки

эффективных программ селекции риса на засухоустойчивость. Если селекционер хочет проверить устойчивость к стрессу, который не обязательно происходит каждый год, стресс может быть искусственно введен в селекционную среду. В случае засухоустойчивости суходольного риса это может быть достигнуто в некоторых местах путем проведения испытаний на урожайность в сухой сезон с орошением, подаваемым для имитации условий засухи. Результаты скрининга засухи в сухой сезон следует интерпретировать осторожно, поскольку внесезонный фотопериод, интенсивность солнечной радиации, температура, испарение и влияние болезней часто отличаются от тех, которые характерны для влажного сезона (Venuprasad et al., 2007).

Национальные программы, в которых приоритетное внимание уделяется засухоустойчивости как цели селекции суходольного риса, должны разработать соответствующую среду для скрининга образцов. В IRRRI отбор в условиях управляемого стресса в сухой сезон показывает значения наследуемости, которые не всегда ниже, чем у нестрессовых испытаний. Линии, отобранные в таких условиях, имеют значительно более высокую урожайность в условиях естественной засухи, чем случайно выбранные линии (Venuprasad et al., 2007).

Было установлено, что ответ на отбор по урожайности риса в неблагоприятных условиях выше, чем в благоприятных. Если существует высокая корреляция между урожайностью в обеих средах, селекция для повышения урожайности в условиях водного стресса может также привести к отбору сортов с более высоким общим потенциалом урожайности. Если селекционер хочет создать сорт, который будет давать хороший урожай, как в условиях засухи, так и без нее, то отбор, основанный на показателе продуктивности в обеих средах, будет наиболее эффективным критерием отбора (Atlin et al., 2006).

Использование молекулярных маркеров для повышения засухоустойчивости. У риса были выявлены многочисленные QTL, связанные с признаками, влияющими на засухоустойчивость. Одно из исследований осмотической регуляции (ОР) выявило 14 QTL, что объясняет в общей сложности 58% фенотипической вариации этого признака в популяции из 150 инбредных линий (Price, 2002). Другое исследование выявило 28 QTL, связанных с многочисленными признаками корней (Hazen et al., 2005). В третьем исследовании при сравнении локализации 36 QTL, связанных с признаками корней, и 5 QTL, связанных с ОР, был сделан вывод о том, что они не зависят друг от друга (Yusuff et al., 2019).

Маркерная селекция для повышения засухоустойчивости риса. Несмотря на небольшое количество QTL засухоустойчивости для использования в маркерной селекции, было предпринято несколько попыток их интрогрессии в лучшие сорта (Hazen et al., 2005).

Технология молекулярных маркеров до сих пор не была широко использована в качестве селекционного инструмента селекционерами из-за того, что ни один QTL, ответственный за достаточно большое влияние на урожайность зерна, не был обнаружен и точно нанесен на карту. На рисе в настоящее время используют маркеры, связанные с водным потенциалом листьев, стерильностью колосков и задержкой цветения (Price, 2002). Только небольшая часть доступной зародышевой плазмы риса была проанализирована на наличие аллелей, которые могли бы улучшить засухоустойчивость. Многие традиционные сорта из районов, подверженных засухе, обладают определенной устойчивостью к стрессу засухи на репродуктивной стадии, но такие сорта редко использовались в качестве родителей в исследованиях по картированию QTL. В настоящее время линии, используемые в качестве родителей в большинстве работ по картированию QTL, были получены от скрещиваний *indica* × *japonica* (Jongdee et al., 2006). Такие разнообразие скрещивания были необходимы для обеспечения адекватного полиморфизма для картирования. Сейчас имеется большое количество маркеров, и в качестве родителей можно использовать больше агрономически важных сортов. Более широкое изучение засухоустойчивости исходного материала риса приведет к выявлению линий, несущих основные гены, контролирующие устойчивость к засухе. Такие исследования проводятся в IRRRI и дают обнадеживающие результаты (Bernier et al., 2008).

Использование урожайности зерна в качестве критерия отбора в IRRRI из гибридных популяций и точных методов фенотипирования позволило вывести несколько высокоурожайных сортов риса для основных богарных районов его выращивания. Эта стратегия также позволила идентифицировать несколько основных локусов количественных признаков (QTL), которые проявляют большие эффекты в условиях засухи в разных средах и генетических

фонах. Эти QTL объединяются вместе для создания устойчивых к засухе аналогов популярных, но чувствительных к засухе сортов для их замены. Кроме того, изогенные линии служат подходящим генетическим материалом для изучения молекулярных и физиологических механизмов, лежащих в основе этих QTL. Это может обеспечить лучшее понимание функций растений, ответственных за высокую урожайность зерна в условиях засухи, и привести к выявлению новых признаков и генов (Dixit et al., 2014).

Закключение. Существует необходимость в создании суходольных сортов риса, которые будут давать приемлемую урожайность, как в условиях водного дефицита, так и в благоприятных условиях. Известно, что многие признаки способствуют повышению урожайности в условиях засухи, но они недостаточно изучены. В настоящее время проводится работа по изучению физиологических и генетических основ засухоустойчивости риса. Более глубокое понимание генетической основы засухоустойчивости, вероятно, будет достигнуто за счет использования более разнообразных картированных популяций и точного определения генов, влияющих на вариативность засухоустойчивости, с помощью тонкого картирования. Картирование QTL для выявления хромосомных областей, улучшающих урожайность зерна в условиях ограниченной влагообеспеченности, затруднено большими эффектами взаимодействия генотипа со средой, большим количеством генов, влияющих на урожайность. В результате были выявлены отдельные локусы, оказывающие большое влияние на урожайность при стрессе. Характеристика таких генов и их анатомические, физиологические и генетические эффекты станут ключевыми факторами в применении молекулярных маркеров для создания более засухоустойчивых сортов суходольного риса. Это будет способствовать повышению продовольственной безопасности и уровня доходов с.-х. производителей.

Библиографические ссылки

1. Arraudeau M.A. Upland rice: Challenges and opportunities in a less favourable ecosystem // *GeoJournal*. 1995. V. 35. P. 325–328.
2. Atlin G.N., Lafitte H.R., Tao D., Laza M., Amante M., Courtois B. Developing rice cultivars for high-fertility upland systems in the Asian tropics // *Field Crops Research*. 2006. V. 97. P. 43.
3. Babu R.C., Nguyen B.D., Chamarerk V., Chezhian P., Jeyaprakash P., Ganesh S.K., Palchamy A., Sadasivam S., Wade L.J., Nguyen H.T. Genetic analysis of drought resistance in rice by molecular markers: Association between secondary traits and field performance // *Crop Science*. 2003. V. 43. Pp. 1457–1469.
4. Bernier J., Atlin G.N., Serraj R., Kumar A., Spaner D. Breeding upland rice for drought resistance // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008. V. 8. I. 6. P. 927–939. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3153>.
5. Dixit S., Singh A., Kumar A. Rice Breeding for High Grain Yield under Drought: A Strategic Solution to a Complex Problem // *International Journal of Agronomy*. 2014. V. 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/863683>.
6. Fukai S., Cooper M. Development of drought-resistant cultivars using physiomorphological traits in rice // *Field Crops Research*. 1995. V. 40. P. 67–86.
7. Hazen S.P., Pathan M.S., Sanchez A., Baxter I., Dunn M., Estes B., Chang H.-S., Zhu T., Kreps J.A., Nguyen H.T. Expression profiling of rice segregating for drought tolerance QTLs using a rice genome array // *Functional and Integrative Genomics*. 2005. V. 5. Pp. 104–116.
8. Jongdee B., Pantuwan G., Fukai S., Fischer K. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: An example from Thailand // *Agricultural Water Management*. 2006. V. 80. Pp. 225–240.

9. Lafitte H.R., Li Z.K., Vijayakumar C.H.M., Gao Y.M., Shi Y., Xu J.L., Fu B.Y., Yu S.B., Ali A.J., Domingo J., Maghirang R., Torres R. Improvements of rice drought tolerance through backcross breeding: Evaluation of donors and selection in drought nurseries // *Field Crops Research*. 2006. V. 97. Pp. 77–86.
10. Luo L.J. Breeding for water-saving and drought resistance rice (WDR) in China // *J. Exp. Bot.* 2010. V. 61(13). Pp. 3509–3517.
11. Mackill D.J., Fukai S., Blum A. Indirect selection for physiological traits for drought tolerance, in breeding rice for drought-prone environments, ed. by Fisher K.S. et al., IRRI, Los Baños, Philippines, 2003. Pp. 49–54.
12. Nguyen H.T., Babu R.C., Blum A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations // *Crop Science* 1997. V. 37. pp. 1426–1434.
13. Pantuwan G., Fukai S., Cooper M., Rajatasereekul S., O'Toole J.C. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands: 2. Selection of drought resistant genotypes // *Field Crops Research*. 2002. V. 73. Pp. 169–180.
14. Price A.H. QTLs for root growth and drought resistance in rice, in *Molecular techniques in crop improvement*, ed. by Mohan J.S. et al. Kulwer Academic Publisher, Norwell, MA, USA, 2002. Pp. 563–584.
15. Swain P., Raman A., Singh S.P., Kumar A. Breeding drought tolerant rice for shallow rainfed ecosystem of eastern India // *Field Crops Res.* 2017. V. 209. Pp. 168–178. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.007.
16. Torres R.O., Henry A. Yield stability of selected rice breeding lines and donors across conditions of mild to moderately severe drought stress // *Field Crops Res.* 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.011>.
17. Venuprasad R., Lafitte H.R., Atlin G.N. Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice // *Crop Science*. 2007. V. 47. Pp. 285–293.
18. Yusuff O., Rafii M.Y., Chukwu S. Drought Resistance in Rice from Conventional to Molecular Breeding: A Review // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. V. 20(14). Pp. 3519. DOI: 10.3390/ijms20143519.

References

1. Arraudeau M.A. Upland rice: Challenges and opportunities in a less favourable ecosystem // *GeoJournal*. 1995. V. 35. P. 325–328.
2. Atlin G.N., Lafitte H.R., Tao D., Laza M., Amante M., Courtois B. Developing rice cultivars for high-fertility upland systems in the Asian tropics // *Field Crops Research*. 2006. V. 97. P. 43.
3. Babu R.C., Nguyen B.D., Chamarerk V., Chezhian P., Jeyaprakash P., Ganesh S.K., Palchamy A., Sadasivam S., Wade L.J., Nguyen H.T. Genetic analysis of drought resistance in rice by molecular markers: Association between secondary traits and field performance // *Crop Science*. 2003. V. 43. Pp. 1457–1469.
4. Bernier J., Atlin G.N., Serraj R., Kumar A., Spaner D. Breeding upland rice for drought resistance // *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008. V.8. I.6. P. 927-939. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3153>.
5. Dixit S., Singh A., Kumar A. Rice Breeding for High Grain Yield under Drought: A Strategic Solution to a Complex Problem // *International Journal of Agronomy*. 2014. V. 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/863683>.
6. Fukai S., Cooper M. Development of drought-resistant cultivars using physiomorphological traits in rice // *Field Crops Research*. 1995. V. 40. P. 67–86.
7. Hazen S.P., Pathan M.S., Sanchez A., Baxter I., Dunn M., Estes B., Chang H.-S., Zhu T., Kreps J.A., Nguyen H.T. Expression profiling of rice segregating for drought tolerance QTLs using a rice genome array // *Functional and Integrative Genomics*. 2005. V. 5. Pp. 104–116.
8. Jongdee B., Pantuwan G., Fukai S., Fischer K. Improving drought tolerance in rainfed lowland rice: An example from Thailand // *Agricultural Water Management*. 2006. V. 80. Pp. 225–240.
9. Lafitte H.R., Li Z.K., Vijayakumar C.H.M., Gao Y.M., Shi Y., Xu J.L., Fu B.Y., Yu S.B., Ali A.J., Domingo J., Maghirang R., Torres R. Improvements of rice drought tolerance through backcross breeding: Evaluation of donors and selection in drought nurseries // *Field Crops Research*. 2006. V. 97. Pp. 77–86.
10. Luo L.J. Breeding for water-saving and drought resistance rice (WDR) in China // *J. Exp. Bot.* 2010. V. 61(13). Pp. 3509–3517.
11. Mackill D.J., Fukai S., Blum A. Indirect selection for physiological traits for drought tolerance, in breeding rice for drought-prone environments, ed. by Fisher K.S. et al., IRRI, Los Baños, Philippines, 2003. Pp. 49–54.
12. Nguyen H.T., Babu R.C., Blum A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations // *Crop Science* 1997. V. 37. pp. 1426–1434.
13. Pantuwan G., Fukai S., Cooper M., Rajatasereekul S., O'Toole J.C. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to drought under rainfed lowlands: 2. Selection of drought resistant genotypes // *Field Crops Research*. 2002. V. 73. Pp. 169–180.
14. Price A.H. QTLs for root growth and drought resistance in rice, in *Molecular techniques in crop improvement*, ed. by Mohan J.S. et al. Kulwer Academic Publisher, Norwell, MA, USA, 2002. Pp. 563–584.
15. Swain P., Raman A., Singh S.P., Kumar A. Breeding drought tolerant rice for shallow rainfed ecosystem of eastern India // *Field Crops Res.* 2017. V. 209. Pp. 168–178. doi: 10.1016/j.fcr.2017.05.007.
16. Torres R.O., Henry A. Yield stability of selected rice breeding lines and donors across conditions of mild to moderately severe drought stress // *Field Crops Res.* 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.011>.
17. Venuprasad R., Lafitte H.R., Atlin G.N. Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice // *Crop Science*. 2007. V. 47. Pp. 285–293.
18. Yusuff O., Rafii M.Y., Chukwu S. Drought Resistance in Rice from Conventional to Molecular Breeding: A Review // *International Journal of Molecular Sciences*. 2019. V. 20(14). Pp. 3519. DOI: 10.3390/ijms20143519.

Поступила: 27.04.21; принята к публикации: 6.07.21.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Костылев П.И. – постановка цели и задач, анализ литературных данных, формирование концепции статьи, написание текста; Аксенов А.В. – сбор информации, перевод с английского языка.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

НОВЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ГРАНИК

А.В. Ильин¹, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции ячменя, santasimatrinidad@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3705-653X;

И.А. Шарганова¹, старший научный сотрудник лаборатории селекции ячменя, sharganova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5498-7491;

С.С. Деревягин², кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, sergey_derevyagin@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1836-7199

¹Краснокутская селекционная опытная станция – филиал ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», 413241, Саратовская обл., Краснокутский район, пос. Семенной, ул. Новая, 2, e-mail: soskkut@rambler.ru;

²ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», 410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, 7; e-mail: raiser_saratov@mail.ru

Цель исследований – оценка высокобелкового сорта ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) Граник в условиях Левобережья Саратовской области. Исследования проводили на базе Краснокутской селекционной опытной станции, расположенной в Саратовской области, Краснокутском районе, пос. Семенной (координаты опытного поля 50.914007, 47.068303) на каштановых почвах. Из 8 лет изучения нового сорта в конкурсном сортоиспытании – 2013, 2014 и 2020 гг. можно охарактеризовать как средние по увлажнению, 2016 и 2017 гг. – влажные, 2015, 2018 и 2019 гг. – как острозасушливые. Установлено значимое преимущество над стандартным сортом Нутанс 553 по урожайности в среднем на 0,25 т/га (+11,0%), массе 1000 зёрен – на 2,4 г (+6,0%), озернённости 1 м² – на 270 зёрен (5,0%). Сорт Граник отличался более высокой соломиной (69,3 см, что на 4,0 см выше стандарта), устойчивостью к полеганию, полевой устойчивостью к пыльной головне. В условиях искусственной инокуляции спорами местной популяции пыльной головни наибольшее поражение сорта составило 9,9% при поражении стандарта 23,1%. Не выявлено значимых различий между сортами по длительности периода вегетации (70–74 дня), пищевой и энергетической ценности. Установлено, что обоим сортам свойственно высокое содержание белка – 15,6–15,9%. С 2019 года сорт Граник занесён в Госреестр РФ по 8 (Нижеволжскому) региону. В 2020 году сорт прошел проверку в производственных условиях на Аркадакской сельскохозяйственной опытной станции на площади 50 га, где показал урожайность 3,30 т/га на фоне сорта ЯК 401, давшего на такой же площади 2,60 т/га.

Ключевые слова: яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.), урожай, устойчивость, масса 1000 зёрен, озернённость, кормовая ценность.

Для цитирования: Ильин А.В., Шарганова И.А., Деревягин С.С. Новый сорт ярового ячменя Граник // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 23–27. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-23-27.



THE NEW SPRING BARLEY VARIETY 'GRANIK'

A.V. Ilin¹, Doctor of Agricultural Sciences, head of the laboratory for barley breeding, e-mail: santasimatrinidad@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-3705-653X;

I.A. Sharganova¹, senior researcher of the laboratory for barley breeding, e-mail: sharganova@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5498-7491;

S.S. Derevyagin², Candidate of Agricultural Sciences, deputy director on scientific work, e-mail: sergey_derevyagin@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-1836-7199

¹Krasnokutskaya breeding experimental station, a branch of the FSBSI "FARC of South-East", 413241, Saratov region, Krasnokutskiy district, v. of Semennoy, Novaya Str., 2; e-mail: soskkut@rambler.ru;

²FARC of South-East, 410010, Saratov, Tulaykov Str., 7; e-mail: raiser_saratov@mail.ru

The purpose of the current study was to evaluate the high-protein spring barley variety (*Hordeum vulgare* L.) 'Granik' in the conditions of the left bank of the Saratov region. The study was carried out on the basis of the Krasnokutsk breeding experimental station, located in the Saratov region, Krasnokutsk district, the village of Semennoy on chestnut soils (coordinates of the experimental plot is 50.914007, 47.068303). The years of 2013, 2014 and 2020 (from 8 years of studying the new variety in the competitive variety testing (CVT)) were average humid; the years of 2016 and 2017 were wet; the years of 2015, 2018 and 2019 were acutely arid. There was established a significant advantage of the new variety over the standard variety 'Nutans 553' according to productivity on 0.25 t/ha (+11.0%) on average; according to 1000-grain weight on 2.4 g (+6.0%); according to grain number per 1 m² on 270 grains (5.0%). The variety 'Granik' was distinguished by a higher straw (69.3 cm, which was 4.0 cm higher than that of the standard variety), by better resistance to lodging and to dust brand. Under artificial inoculation with spores of the local population of dust brand, the greatest damage to the variety was 9.9%, while the standard variety was 23.1%. There were no significant differences between the varieties according to 'length of vegetation period' (70–74 days), nutritional and energy value. There has been found that both varieties were characterized by a high protein percentage (15.6–15.9%). Since 2019, the variety 'Granik' has been introduced into the List of the State Register of the Russian Federation for the 8th (Lower Volga) region. In 2020 the variety was tested in production conditions at the Arkadak agricultural experimental station on an area of 50 hectares, where it produced 3.30 t/ha against the background of the variety 'Yak 401', which produced 2.60 t/ha on the same area.

Keywords: spring barley (*Hordeum vulgare* L.), yield, resistance, 1000-grain weight, grain number per area unit, feed value.

Введение. Яровой ячмень является одной из наиболее важных культур в растениеводстве мира после пшеницы и риса. История его выращивания и селекции начинается с древних времен (Филиппов и др., 2021; Pankin and fon Korff, 2017; Sujetovienė et al., 2018; Wiegmann et al., 2019). Площади посевов, ежегодно занимаемые ячменем, в мире составляют около 50,0 млн га, а валовые сборы зерна – 145,2 млн т. Россия по валовому сбору ячменя стабильно занимает 2 место после стран ЕС, обеспечивая 11–15% мирового производства. И более одной трети внутрироссийского производства (36,6%) сосредоточено в Поволжье (Филенко и др., 2017).

Ячмень считается одной из самых урожайных яровых зерновых культур, отличается сравнительно небольшими затратами по возделыванию и высокой востребованностью в животноводстве и переработке. В зерне ячменя содержится 7–15% белка, 65% безазотистых экстрактивных соединений, 2% жира, 5,0–5,5% клетчатки, 2,5–2,8% золы. Белок ячменя содержит все незаменимые аминокислоты, включая особо дефицитные и наиболее ценные – лизин и триптофан. Зерно ячменя широко применяют в качестве концентрированного корма, поскольку в 1 кг содержится 1,21–1,28 кормовых единиц и 100 г переваримого протеина (Левакова и Ерошенко, 2019; Филенко и др., 2017). Создание новых более высокопродуктивных сортов для региона – один из путей стабилизации и наращивания производства зерна этой ценной культуры.

Цель работы – оценить высокобелковый сорт ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) Граник в условиях Левобережья Саратовской области.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили на Краснокутской селекционной опытной станции (координаты опытного поля 50.914007, 47.068303, Краснокутский район Саратовской области). Преобладающие почвы – каштановые, мощность горизонта А – 18 см, содержание гумуса в пахотном слое – 1,9–2,4%, подвижного фосфора – 2,55 мг/100 г почвы, калия – 49,6 мг/100 г почвы. Вскипание карбонатов – с 38 см, реакция почвенного раствора щелочная (рН – 7,4–7,9).

Растения высевали сеялкой Saxonia десятирядковыми деланками с учётной площадью 25 м², с междурядьем 15 см и нормой высева 2,5 млн всхожих семян на 1 га в 4-кратной повторности. Предшественник – чёрный пар. Сроки посева – 10–25 апреля. Учет урожайности проводили комбайном Wintersteiger Classic, оснащённым системой регистрации данных Classic GrainGage (для измерения веса, влажности и натуры зерна). Урожайность приведена к стандартной влажности (14%). В опыте сравнивали два сорта ярового ячменя разновидности нутанс (*nutans*). В качестве контроля использовали сорт Нутанс 553, внесённый в Госреестр селекционных достижений РФ с 1997 года, являющийся стандартом Госсортокмиссии в Саратовской, Пензенской

и Ульяновской областях. В сравнении с ним оценивали новый сорт Граник. У обоих сортов колос двурядный, соломенно-жёлтой окраски, рыхлый, длиной 8–11 см, поникающий. Ости длинные – в 1,5 раза длиннее колоса, зазубренные. Боковые стерильные цветки довольно крупные. Зерно крупное, масса 1000 зёрен – 43–52 г, округлое, основание у зерна голое, щетинка у основания волосистая. Сорта степного экотипа, среднеранние (70–74 дня), хорошо кустиющиеся, засухоустойчивые.

Погодные условия вегетации ярового ячменя в годы проведения исследований (2013–2020 гг.) характеризовались сильной изменчивостью. Так, запасы полезной влаги в слое почвы 0–100 см на момент посева варьировали от 52 до 160 мм (среднепогодная норма 111 мм), сумма осадков за период вегетации изменялась от 4,5 до 180 мм (среднепогодные показатели 75,4 мм), величина гидротермического коэффициента – от 0,03 до 1,27 (среднепогодный уровень 0,56). Из 8 лет изучения нового сорта в конкурсном сортоиспытании 2013, 2014 и 2020 гг. можно охарактеризовать как средние по увлажнению, 2016 и 2017 гг. – влажные, 2015, 2018 и 2019 гг. – как острозасушливые.

Во время вегетации проводили фенологические наблюдения, оценки и учёт согласно Методике государственного сортоиспытания (2019). Устойчивость к пыльной головне определяли по результатам искусственной инокуляции колосьев спорами местной популяции пыльной головни по методу В.И. Кривченко (1984). Содержание белка и крахмала определяли инфракрасным методом на приборе «Инфратек 1241», подсчёт обменной энергии – по методике А.П. Калашникова (1985) и данным о переваримости М.Ф. Томмэ (1964). Статистическую обработку данных проводили дисперсионным методом по Б.А. Доспехову (1985).

Результаты и их обсуждение. Внедрение новых высокоурожайных сортов ярового ячменя позволяет, даже при уменьшении посевных площадей, стабильно получать высокие валовые сборы зерна. Рост продуктивности культуры является постоянной задачей селекционеров, в том числе и работающих для засушливых регионов. Здесь требуется сочетание повышенной засухоустойчивости и способности высоко оплачивать улучшение условий произрастания (Филенко и др., 2017). Сорт Нутанс 553 в условиях Краснокутской опытной станции являлся отправной точкой в целенаправленной селекции на засухоустойчивость, крупнозерность, высокую озёрность единицы площади, высокую и устойчивую к полеганию соломину. Одним из образцов, отвечающих вышеозначенным требованиям, показал себя сорт Граник (линия Нутанс 296/11), полученный от скрещивания Омский 86/Нутанс 553//Нутанс 1131/06, проведённого в 2006 году. При изучении в конкурсном сортоиспытании (2013–2020 гг.) сорт показал значимое преимущество над стандартным сортом Нутанс 553 по урожайности (табл. 1).

1. Показатели урожайности нового сорта Граник в КСИ (2013–2020 гг.)
1. Productivity indicators of the new variety 'Granik' in the CVT (2013–2020)

Сорт	Урожайность зерна по годам, т/га				Коэффициент вариации, %
	в остро-засушливые	в средние	во влажные	в среднем	
Нутанс 553, ст.	1,08	2,25	4,08	2,27	56,8
Граник	1,31	2,50	4,36	2,52	51,1
НСР ₀₅	0,12	0,15	0,20	0,15	–

Новый сорт показал существенную прибавку над стандартом в разные типы лет и что особенно важно, в годы с экстремально засушливыми условиями. Коэффициенты вариации урожайности говорят о большей стабильности сорта Граник. Максимальная урожайность сорта зафиксирована в опытах Госсортсети на Черноярском ГСУ Астраханской области в 2017 г. – 5,35 т/га.

Определяющим показателем для величины урожайности ярового ячменя в условиях Заволжья является озерненность единицы площади (Ильин, 2017). Этот параметр зависит от плотности продуктивного стеблестоя и озерненности колоса. По данной величине сорт Граник показал значимое преимущество и меньший коэффициент вариации (табл. 2).

2. Показатели озерненности единицы площади нового сорта Граник, КСИ (2013–2020 гг.)
2. Indicators of grain number per area unit of the new variety 'Granik', CVT, 2013–2020.

Сорт	Озерненность, шт./м ² , по годам				Коэффициент вариации, %
	в остро-засушливые	в средние	во влажные	в среднем	
Нутанс 553, ст.	3352	4843	8932	5496	47,3
Граник	3534	5293	8955	5766	43,1
НСР ₀₅	173	261	303	254	–

Преимущество сорта проявилось в остро-засушливые и среднеувлажненные годы, во влажные годы озерненность была практически одинаковой и прибавка обеспечивалась за счёт налива более крупного зерна.

Вторым показателем, определяющим продуктивность сортов, является масса 1000 зёрен и по этому показателю сорт Граник также имеет преимущество в остро-засушливые и влажные годы (табл. 3).

3. Масса 1000 зёрен нового сорта Граник, КСИ (2013–2020 гг.)
3. 1000 grains weight of the new variety 'Granik', CVT (2013–2020)

Сорт	Масса 1000 зёрен, г, по годам				Коэффициент вариации, %
	в остро-засушливые	в средние	во влажные	в среднем	
Нутанс 553, ст.	33,3	46,2	46,0	41,3	16,0
Граник	36,9	47,1	48,8	43,7	14,3
НСР ₀₅	1,1	1,6	2,0	1,5	–

Зерно ячменя, выращиваемое в южных и юго-восточных засушливых районах, является непревзойденным по своим кормовым и пищевым качествам (Левакова и Ерошенко, 2019; Филенко и др., 2017; Wiegmann et al., 2019). По питательной ценности между сортами не существенного различия не наблюдалось. За 2013–2020 годы сорт Граник показал среднее содержание белка в зерне – 15,6%, стандартный сорт Нутанс 553 – 15,9%. Содержание крахмала – 54,8% против 53,7 у стандарта. Содержание обменной энергии в 1 кг зерна у сорта Граник – 12,07 МДж, против 12,00 МДж у стандарта.

Целенаправленное улучшение технологичности сортов ячменя проводили путем селекции на увеличение высоты растений в засушливые годы, устойчивости к полеганию в годы с хорошим обеспечением осадками. В среднем

за 2013–2020 гг. сорт Граник имел высоту растений 69,3 см, что на 4,0 см выше, чем стандартный сорт Нутанс 553. Это преимущество прослеживается во все типы лет. Незначительное полегание посевов ярового ячменя наблюдалось только в 2017 году. В среднем по всем повторениям устойчивость к полеганию у нового сорта была 4,3 балла (по 5-балльной шкале), у стандарта – 3,8 балла.

Скороспелость, адаптивность и продуктивность являются необходимыми характеристиками современного коммерческого сорта. В условиях засушливого климата скороспелость часто определяет продуктивность (Звейнек и Ковалева, 2020; Филиппов и др., 2021; Sujetovienė et al., 2018). Новый сорт Граник в среднем за период изучения (2013–2020 гг.) характеризовался периодом вегетации в 72 дня – на 1 день меньше, чем

у стандарта. Даже незначительное отклонение в сторону скороспелости в отдельные годы позволяет уходить от стрессовых температур в период налива и образовывать более крупное, хорошо выполненное зерно.

В условиях сухих степей одним из наиболее часто проявляющихся заболеваний ячменя является пыльная головня *Ustilago nuda* (Jens) Kell et Sw. При изучении на станции новый сорт Граник не поражался патогенном в полевых условиях. При искусственной инокуляции спорами местной популяции пыльной головни наибольшее поражение сорта составило 9,9%, а поражение стандарта 23,1%.

Сорт Граник был включён в Госреестр и допущен к использованию в 8 (Нижегородском) регионе РФ с 2019 года. В 2020 году прошёл проверку в производственных условиях на Аркадакской сельскохозяйственной опытной станции на площади 50 га, где показал урожайность 3,30 т/га на фоне сорта ЯК 401, посеянного на такой же площади – 2,60 т/га.

При возделывании новый сорт хорошо отзывается на ранние сроки посева, припосевное внесение азотно-фосфорных удобрений в дозе 10–15 кг действующего вещества на гектар. Основное удобрение $N_{30-40} P_{30-40}$ повышает продуктивность посевов на 20–25%.

Оптимальные нормы посева в зоне допуска к производству – 3,0–4,0 млн всхожих семян на гектар, в целях семеноводства – 2,5–3,0 млн всхожих семян на гектар.

Выводы. В результате селекционной работы на Краснокутской селекционной опытной станции НИИСХ Юго-Востока выведен новый сорт ярового ячменя Граник. Урожайность нового сорта в опытах станции в среднем за 8 лет (2013–2020 гг.) составила 2,52 т/га, что на 0,25 т/га (11,0%) выше стандартного сорта Нутанс 553. Сорт характеризуется и большей устойчивостью урожайности (меньший коэффициент вариации). Превышение получено как за счёт лучшей (на 5%) озёрненности единицы площади, так и за счёт более высокой (на 6%) массы 1000 зёрен. Новый сорт, как и стандарт, отличается хорошими кормовыми качествами зерна: среднее содержание белка – 15,6%, крахмала – 54,8%, обменной энергии – 12,07 МДж/кг. Сорт Граник лучше приспособлен к механизированной уборке, чем стандартный сорт Нутанс 553, он характеризуется средней высотой растений 69,3 см, что на 4,0 см выше стандарта, и более устойчивой к полеганию соломиной, обладает высокой полевой устойчивостью к пыльной головне.

Библиографические ссылки

1. Ильин А.В. Изменения погодных факторов в период вегетации ярового ячменя и реакция селекционного материала // Современные тенденции развития науки и технологий. Мат. XXIV международной научной практической конф. Белгород. 2017. № 3-1. С. 103–108.
2. Звейнек И.А., Ковалева О.Н. Создание доноров ультраскороспелости ячменя // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 83–92. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-83-92.
3. Левакова О.В., Ерошенко Л.М. Высокобелковые сорта и перспективные линии ярового ячменя // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 6. С. 23–25. DOI: 10.30850/vrsn/2019/6/23-25.
4. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: ООО «Группа Компаний Море», 2019. Вып. 1. 384 с.
5. Филенко Г.А., Фирсова Т.И., Скворцова Ю.Г., Филиппов Е.Г. Динамика посевных площадей и урожайности ярового ячменя в РФ // Зерновое хозяйство России. 2017. № 5(53). С. 20–25.
6. Филиппов Е.Г., Донцова А.А., Донцов Д.П., Брагин Р.Н. Новый раннеспелый сорт ярового ячменя Федос // Зерновое хозяйство России. 2021. 1(74). С. 11–16. DOI:10.31367/2079-8725-2021-74-2-11-16.
7. Pankin A., von Korff M. Co-evolution of methods and thoughts in cereal domestication studies: a tale of barley (*Hordeum vulgare*). Current Opinion in Plant Biology. 2017; 36: 15–21. DOI 10.1016/j.pbi.2016.12.001.
8. Sujetovienė G., Velička R., Kanapickas A., Kriauciūnienė Z., Romanovskaja D., Bakšienė E., Vagusevičienė I., Klepeckas M. and Juknys R. Climate-change-related long-term historical and projected changes to spring barley phenological development in Lithuania // The Journal of Agricultural Science. Volume 156, Issue 9, November 2018, pp. 1061–1069. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000904>.
9. Wiegmann M., Pillen K., Maurer A., Thomas W.T.B., Bull H.J., Flavell A.J., Zeyner A., Peiter E. Wild Barley Serves as a Source for Biofortification of Barley Grains // Plant Science, 2019. Volume 283. Pp. 83–94. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.12.030.

References

1. Il'in A.V. Izmeneniya pogodnykh faktorov v period vegetatsii yarovogo yachmenya i reaktsiya selekcionnogo materiala [Weather changes during the spring barley growing season and the reaction of breeding material] // Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii. Mat. XXIV mezhdunarodnoy nauchnoy prakticheskoy konf. Belgorod. 2017. № 3-1. S. 103–108.
2. Zvejnek I.A., Kovaleva O.N. Sozdanie donorov ul'traskorospelosti yachmenya [Development of ultra-early maturing barley donors] // Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii. 2020. T. 181. № 4. S. 83–92. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-4-83-92.
3. Levakova O.V., Eroshenko L.M. Vysokobelkovyye sorta i perspektivnyye linii yarovogo yachmenya [High-protein spring barley varieties and promising lines] // Vestnik rossijskoy sel'skhozaystvennoy nauki. 2019. № 6. S. 23–25. DOI: 10.30850/vrsn/2019/6/23-25.

4. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. M.: ООО «Gruppa Kompanij More», 2019. Vyp. 1. 384 s.
5. Filenko G.A., Firsova T.I., Skvorcova YU.G., Filippov E.G. Dinamika posevnyh ploshchadej i urozhajnosti yarovogo yachmenya v RF [Dynamics of sown areas and spring barley productivity in the Russian Federation] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2017. № 5(53). S. 20–25.
6. Filippov E.G., Doncova A.A., Doncov D.P., Bragin R.N. Novyj rannespelyj sort yarovogo yachmenya Fedos [The new early-maturing spring barley variety 'Fedos'] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2021. 1(74). S. 11–16. DOI:10.31367/2079-8725-2021-74-2-11-16.
7. Pankin A., von Korff M. Co-evolution of methods and thoughts in cereal domestication studies: a tale of barley (*Hordeum vulgare*). Current Opinion in Plant Biology. 2017; 36: 15–21. DOI 10.1016/j.pbi.2016.12.001.
8. Sujetovienė G., Velička R., Kanapickas A., Kriauciūnienė Z., Romanovskaja D., Bakšienė E., Vagusevičienė I., Klepeckas M. and Juknys R. Climate-change-related long-term historical and projected changes to spring barley phenological development in Lithuania // The Journal of Agricultural Science. Volume 156, Issue 9, November 2018, pp. 1061–1069. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859618000904>.
9. Wiegmann M., Pillen K., Maurer A., Thomas W.T.B., Bull H.J., Flavell A.J., Zeyner A., Peiter E. Wild Barley Serves as a Source for Biofortification of Barley Grains // Plant Science, 2019. Volume 283. Pp. 83–94. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.12.030.

Поступила: 14.01.21; принята к публикации: 18.03.21.

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. Ильин А.В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, анализ данных и их интерпретация; Шарганова И.А. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Деревягин С.С. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ ОБРАЗЦОВ ЛЮЦЕРНЫ НА ЮГЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

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

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

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

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Общее изменение климата на юге России вызывает необходимость создания новых сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и кормовых трав, с высокой устойчивостью и пластичностью к климатическим стрессовым факторам. Селекция кормовых растений, адаптированных к изменяющимся экологическим условиям, рассматривается как эффективное средство, позволяющее растениеводству перенести неожиданные возможные изменения климата с наименьшими потерями. Специфическая реакция растений на экологические условия представляет особый интерес при изучении коллекционных образцов растений, представляющих различные генотипы, а также при выборе сортов для выращивания в конкретных условиях. Изучение стабильности и пластичности коллекционных образцов кормовых трав может также позволить использовать их в различных регионах. Цель исследований – оценка коллекционных образцов люцерны по параметрам экологической пластичности и стабильности по признаку «урожайность семян». Объектами исследований послужили 30 образцов коллекции ВИГРР из США, Канады, Франции и Перу. Выделилась в опыте большая группа образцов с $b_i < 1$. Эти образцы важны как генотипы, имеющие слабую реакцию урожайности семян на худшие условия. Их нужно будет использовать в скрещиваниях для получения исходного материала, пластичного по признаку «урожайность семян» в жестких условиях. Наименьший коэффициент b_i выявлен у К-42694 (0,20), К-32783 (0,22) и К-47804 (0,29). Коэффициент стабильности σ^2_{ϵ} , отражающий связь между условиями выращивания и урожайностью семян образцов за годы наблюдений и рассчитанный на основе теоретической урожайности и отклонения теоретической величины от фактической, варьировал от 0,01 до 74,70. Такой размах варьирования свидетельствует о том, что в наборе имеются образцы, устойчивость продуктивности которых обусловлена генетически и достоверно превышает изменчивость средней всего набора. Оценка различий по стабильности урожайности семян, в сравнении со стандартом Ростовская 90, выявила достоверное различие по этому признаку у образцов К-43272, К-50545, К-50561.

Ключевые слова: люцерна, исходный материал, признак, урожайность семян, пластичность, стабильность, отзывчивость.

Для цитирования: Игнатъев С.А., Регидин А.А., Кравченко Н.С. Семенная продуктивность и параметры адаптивности образцов люцерны на юге Ростовской области // Зерновое хозяйство России. № 4(76). С. 28–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-28-33.



SEED PRODUCTIVITY AND ADAPTABILITY PARAMETERS OF THE ALFALFA SAMPLES IN THE SOUTH OF THE ROSTOV REGION

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

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

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

Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The general climate change in the south of Russia makes the development of new varieties of grain crops, including forage grasses, with high resistance and adaptability to climatic stress factors extremely necessary. The breeding process of forage plant adapted to changing environmental conditions is seen as an effective way to allow crop production to cope with unexpected possible climate changes with the least possible losses. The specific reaction of plants to environmental conditions is of particular interest when studying collection plant samples of different genotypes, as well as when choosing varieties for cultivation in specific conditions. Studying the stability and adaptability of collection samples of forage grasses can also make it possible to use them in different regions. The purpose of the current study was to estimate alfalfa samples by the parameters of ecological adaptability and stability according to the trait 'seed productivity'. The objects of study were 30 samples of the VIR collection from the USA, Canada, France and Peru. There has been identified a large group of samples with $b_i < 1$. These samples were important as genotypes with a weak responsiveness of seed productivity to worse conditions. They are to be used in hybrids to obtain an initial material that is adaptive according to the trait 'seed productivity' in stressful conditions. The smallest b_i coefficient was

found in the samples 'K-42694' (0.20), 'K-32783' (0.22) and 'K-47804' (0.29). The stability coefficient σ_d^2 , which reflects the correlation between the growing conditions and seed productivity of the samples through the years of study and was calculated on the basis of the theoretical productivity and the deviation of the theoretical value from the actual one, varied from 0.01 to 74.70. This range of variation indicates that the set of samples contains such samples whose stability of productivity is genetically determined and significantly exceeds the variability of the average productivity of the entire set. Estimation of differences according to stability of seed productivity, in comparison with the standard variety 'Rostovskaya 90', revealed a significant difference in this trait in the samples 'K-43272', 'K-50545', 'K-50561'.

Keywords: alfalfa, initial material, trait, seed productivity, adaptability, stability, responsiveness.

Введение. Люцерна из-за высокой урожайности и качества получаемого корма является одной из важнейших кормовых культур в мире. Мощно развитая корневая система, способность с помощью клубеньковых бактерий поглощать из воздуха азот и достаточно длительное время произрастать на одном месте делает ее важной агротехнически и экологически значимой (Сапрыкин и др., 2020; Bouton, 2012).

В мире посевные площади люцерны составляют около 40 млн. га. Основные районы ее возделывания: Северная Америка (41%), Европа (25%), Южная Америка (23%), Азия (8%), Африка (2%), Австралия и Океания (1%) (Yuega, 2009).

В России ее посевные площади из-за слабо развитого животноводства составляют только 2,0–2,5 млн га.

За время хозяйственного использования люцерна, взаимодействуя со средой произрастания, сформировала большое количество форм, популяций, биотипов и экотипов. Широкому разнообразию популяций способствовала и селекционная работа с ней (Moyses et al., 2015).

Общее изменение климата на юге России (Мазур и Иванов, 2004; Кривошеев и др., 2014) вызывает необходимость создания новых сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и кормовых трав, с высокой устойчивостью и пластичностью к климатическим стрессовым факторам. Селекция кормовых растений, адаптированных к изменяющимся экологическим условиям, может при этом рассматриваться как эффективное средство, позволяющее растениеводству перенести неожиданные возможные изменения климата с наименьшими потерями (Жученко, 2011; Nascemento et al., 2013).

Специфическая реакция растений на экологические условия представляет особенный интерес при изучении коллекционных образцов растений, представляющих, как правило, различные генотипы, а также при выборе сортов для выращивания в конкретных условиях (Yan, 2016). Изучение стабильности и пластичности коллекционных образцов кормовых трав может также дать возможность использовать их в различных климатических отношениях регионах.

Цель наших исследований – оценка коллекционных образцов люцерны по параметрам экологической пластичности и стабильности по признаку «урожайность семян».

Материалы и методы исследований. Изучали образцы люцерны на опытном поле

«АНЦ «Донской». Объектами исследований послужили образцы из коллекции ВИГРР из США, Канады, Франции и Перу (11, 16, 2, 1 образцов соответственно). За стандарт принят сорт люцерны Ростовская 90.

Закладку опыта, полевые учеты и наблюдения проводили согласно «Методическим указаниям по изучению коллекции многолетних кормовых трав» (1975) и «Методическим указаниям по изучению мировой коллекции многолетних кормовых растений» (1985). Опыт закладывали в трехкратной повторности. Исследования проводили в 2016–2018 гг.

Почвенный покров места проведения опыта представлен черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы – pH-7,1, содержание гумуса – 3,5%, P_2O_5 – 24 мг/кг, K_2O – 340 мг/кг почвы.

Математическую обработку результатов выполняли по «Методике полевого опыта» Б.А. Доспехова (2014), показатель экологической пластичности (b_i) и стабильности (σ_d^2) – по S.A. Eberhart and W.A. Russel (1966) в изложении В.П. Зыкина, И.А. Белан, В.С. Юсова и др. (2005).

В весенний период вегетации условия увлажнения в опыте были близкими к средним многолетним. В марте, апреле и мае 2016 и 2018 гг. отмечалось наименьшее количество осадков. В теплый период осадки носили ливневый характер и на фоне высоких (весной – на 0,5–1,9 °C, летом – на 1,3–3,4 °C выше средних многолетних) температур воздуха оказывали на посевы люцерны кратковременное влияние. В период начала цветения растений люцерны (июнь) среднесуточная относительная влажность воздуха составляла 55–62%, но с 1000 до 1600 она была на уровне 20–35% и с температурой воздуха в это время 29–37 °C. Такие условия не способствовали хорошему опылению цветков растений люцерны, хотя лёт опылителей и посещение цветков были всегда активные.

В условиях 2017 года отмечались более благоприятные условия температурного режима и относительной влажности воздуха.

Результаты и их обсуждение. Чтобы установить наличие или отсутствие взаимодействия «генотип x среда» в изучаемой совокупности образцов люцерны был проведен дисперсионный анализ. Он показал значительное влияние на изменчивость признака «урожайность семян» фактора «условия» (B) – 95,75% (табл. 1).

1. Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта сортообразцов люцерны по признаку «урожайность семян» (2016–2018 гг.)

1. Results of analysis of variance of the two-factor trial of the alfalfa samples according to the trait 'seed productivity' (2016–2018)

Источники варьирования	Степени свободы, Df	Средний квадрат, MS	F _{факт.}	F _{теор.}	Доля влияния факторов, %
Образец (A)	30	1456,30	604,06	16,9	2,23
Условия (B)	2	62397,05	25881,52	3,10	95,75
Взаимодействие (AB)	60	1307,61	542,38	1,46	2,01
Повторения в условиях	3	0,01	0,00	2,71	–
Случайные отклонения (ошибки)	90	2,411	–	–	–

Влияния фактора А (образец) и взаимодействия (А х В) хотя и составляли соответственно 2,23 и 2,01%, но они достоверны ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$), то есть опыт проведен корректно.

Расчет индексов среды, характеризующих изменчивость условий, в которых выращи-

вались образцы на семена, показал, что лучшие условия развития генотипа и формирования семян складывались при положительном значении индекса среды в 2017 году ($I_j = 39,5$) и худшие при отрицательном (-20,6 и -18,8 соответственно в 2016 и 2018 годах) (табл. 2).

2. Семенная продуктивность сортообразцов люцерны и их экологическая стабильность (2016–2018 гг.)

2. Seed productivity of the alfalfa samples and their ecological stability (2016–2018)

Сорт, сортообразец	Страна происхождения	Урожайность по годам, г/м ²			ΣV_j	V_j	b_i
		2016	2017	2018			
Ростовская 90, ст.	Россия	33,9	133,0	55,5	222,4	74,1	1,50
К-27166	Канада	25,5	154,0	64,5	244,0	81,3	1,86
К-32783	Канада	31,1	52,0	45,0	128,1	42,7	0,22
К-33299	Канада	29,8	88,0	10,5	128,3	42,8	1,14
К-36104	Канада	33,1	89,0	25,0	147,1	49,0	1,01
К-42684	Канада	39,8	69,0	28,5	137,3	45,8	0,58
К-42685	Канада	27,7	83,0	21,0	131,7	45,9	0,99
К-43269	Канада	33,7	112,0	21,0	166,7	55,6	1,43
К-43272	Канада	38,8	140,0	81,0	259,8	86,6	1,37
К-48771	Канада	36,6	110,0	52,5	199,1	66,4	1,11
К-48773	Канада	35,2	72,0	12,0	119,2	39,7	0,81
К-48774	Канада	33,4	81,0	33,0	147,4	49,1	0,81
К-48775	Канада	26,6	80,8	48,0	155,4	51,8	0,74
К-48776	Канада	29,8	96,0	24,0	149,8	49,9	1,17
К-48778	Канада	33,5	96,0	60,0	189,5	63,2	0,84
К-50545	Канада	25,3	186,0	70,5	281,8	93,7	2,35
К-50561	Канада	28,6	161,0	97,5	287,1	95,7	1,68
К-42249	США	30,5	81,0	12,0	123,5	41,2	1,00
К-42694	США	36,1	37,0	13,5	86,6	28,9	0,20
К-45119	США	28,9	89,7	51,0	169,6	56,5	0,85
К-45715	США	24,4	91,2	54,0	174,6	58,2	0,85
К-47800	США	55,3	99,0	57,0	211,3	70,4	0,72
К-47801	США	58,8	79,0	25,5	163,3	54,4	0,59
К-47802	США	34,1	51,0	13,5	98,6	32,9	0,45
К-47803	США	52,1	72,0	22,5	146,6	48,9	0,57
К-47804	США	60,7	56,0	15,0	131,7	49,9	0,29
К-47806	США	28,8	127,0	36,0	191,8	63,9	1,60
К-47807	США	43,7	120,0	19,5	183,2	61,1	1,48
К-42712	Перу	40,1	80,0	55,5	175,6	58,3	0,55
К-39978	Франция	34,2	68,0	12,0	114,2	38,1	0,75
К-43260	Франция	43,4	129,0	39,0	211,4	70,5	1,48
ΣV_j	–	1118,5	2982,7	1175,5	–	–	–
V_j	–	36,1	96,2	37,9	–	–	–
I_j	–	-20,6	39,5	-18,8	–	–	–
HCP_{05}	–	2,11	9,35	6,35	–	–	–

Анализ семенной продуктивности образцов люцерны с учетом индекса условий среды

и в сравнении со стандартом Ростовская 90 показывает, что только К-43272 в этих условиях

достоверно превосходил стандарт все три года наблюдений. Образцы К-50545 и К-50561 превышали стандарт во второй и третий год учета урожая, а образцы К-47800 и К-42712 превосходили стандарт в первый год учета и были на его уровне в третий год, то есть эти образцы слабо реагируют на изменение условий среды снижением урожайности семян. Можно предположить, что К-47800 и К-42712 могут быть важны при создании сортов для возделывания на семена в худших условиях.

Определение индекса условий среды позволяет вычислить и коэффициент линейной регрессии (b_i) для каждого образца.

Коэффициент линейной регрессии (b_i) урожайности показывает реакцию изучаемых объектов на изменение условий выращивания. Размерность коэффициента b_i может быть >1 , $=1$ или <1 . При $b_i >1$ генотип (сорт) обладает большей отзывчивостью на изменение условий и в этом случае он требователен к более благоприятным условиям возделывания. Такие образцы могут использоваться в создании сортов для интенсивного земледелия. Если у генотипа $b_i <1$, то он может быть использован для создания сортов экстенсивного земледелия, где они будут давать максимум отдачи при минимуме затрат. При условии $b_i = 1$ отмечается соответствие условий выращивания продуктивности генотипа (Зыкин и др., 2011; Косев и Керткова, 2019).

В изучаемом наборе образцов люцерны К-36104, К-42685, К-42249 имели b_i соответ-

ственно 1,01, 0,99 и 1,00, то есть их семенная продуктивность соответствует условиям выращивания.

Также выделилась в опыте большая группа образцов с $b_i < 1$. Эти образцы, очевидно, важны как генотипы, имеющие слабую реакцию урожайности семян на неблагоприятные условия. Их можно использовать в скрещиваниях для получения исходного материала, пластичного по признаку «урожайность семян» в жестких условиях. Наименьший коэффициент b_i выявлен у К-42694 (0,20), К-32783 (0,24) и К-47804 (0,29).

Третья группа образцов люцерны имела коэффициент $b_i > 1$. Так, сорт Ростовская 90, используемый в качестве стандарта, внесенный в реестр селекционных достижений и допущенный к использованию в 6 регионе РФ, имел $b_i = 1,50$. Большим он был только у К-27166 (1,86), К-50545 (2,35), К-50561 (1,68) и К-47806 (1,60). Эти образцы, в том числе и Ростовская 90, реагируют на улучшение условий выращивания повышением урожайности семян и могут использоваться в селекции сортов для интенсивного земледелия.

Рассчитанная теоретическая урожайность изучаемых образцов с использованием коэффициента регрессии урожайности семян показала, что наибольшее несоответствие теоретической урожайности фактической приходится на годы с худшими условиями получения семян (табл. 3).

3. Теоретическая урожайность, отклонение фактической от теоретической и стабильность (среднеквадратическое отклонение) сортообразцов люцерны (2016–2018 гг.)

3. Theoretical productivity, deviation of actual productivity from theoretical one and stability (standard deviation) of the alfalfa samples (2016–2018)

Сорт, сортообразец	Страна происхождения	Теоретическая урожайность, г/м ²			Отклонение фактической урожайности от теоретической, г/м ²			Коэффициент стабильности, σ_d^2
		годы						
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	
Ростовская 90, ст.	Россия	43,2	133,4	45,9	-9,3	-0,4	9,6	6,16
К-27166	Канада	43,0	154,8	46,3	-17,5	-0,8	18,2	13,03
К-32783	Канада	37,8	52,1	40,5	-6,7	-0,1	4,5	2,25
К-33299	Канада	21,6	37,4	21,6	8,2	0,6	-11,1	6,58
К-36104	Канада	28,2	88,9	30,0	4,9	-0,1	-5,0	1,69
К-42684	Канада	33,9	68,4	34,9	5,9	0,6	-6,4	2,62
К-42685	Канада	23,5	83,0	25,3	4,2	0,0	-4,3	1,24
К-43269	Канада	27,4	109,7	29,9	6,3	2,3	-8,9	4,28
К-43272	Канада	58,4	140,7	60,8	-19,6	-0,7	20,2	27,33
К-48771	Канада	43,5	109,8	45,8	-6,8	0,2	6,7	3,19
К-48773	Канада	23,8	71,1	24,5	11,4	0,9	-12,5	9,90
К-48774	Канада	32,4	81,1	33,9	1,0	-0,1	-0,9	0,06
К-48775	Канада	36,4	81,4	37,7	-9,8	-0,6	10,3	6,98
К-48776	Канада	25,8	96,1	27,9	4,0	-0,1	-3,9	1,08
К-48778	Канада	45,9	96,4	47,4	-12,4	-0,4	12,6	10,78
К-50545	Канада	45,3	186,5	49,5	-20,0	-0,5	21,0	29,01
К-50561	Канада	61,1	162,1	64,2	-32,5	-1,1	33,3	74,70
К-42249	США	20,6	80,7	22,4	9,9	0,3	-10,4	7,11
К-42694	США	24,1	36,1	24,4	12,0	0,9	-10,9	9,09
К-45119	США	39,0	90,1	40,5	-10,1	-0,4	10,5	7,32
К-45715	США	40,7	91,8	42,2	-11,3	-0,6	11,8	9,22
К-47800	США	55,4	99,2	56,7	-0,1	-0,2	0,3	0,01

Сорт, сортообразец	Страна происхождения	Теоретическая урожайность, г/м²			Отклонение фактической урожайности от теоретической, г/м²			Коэффициент стабильности σ_d^2
		годы						
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	
К-47801	США	41,8	78,5	42,9	17,0	0,5	-17,4	20,41
К-47802	США	23,6	50,6	24,4	10,5	0,4	-10,9	7,90
К-47803	США	37,9	71,8	38,0	14,2	0,2	-15,5	15,24
К-47804	США	43,9	60,3	30,5	17,1	-4,3	-15,5	19,00
К-47806	США	30,9	127,1	33,8	-2,1	-0,1	2,2	0,31
К-47807	США	31,2	118,4	33,8	12,5	1,6	-14,3	12,52
К-42712	Перу	47,0	80,0	48,0	-6,9	0,0	7,5	3,58
К-39978	Франция	22,7	67,7	24,0	11,5	0,3	12,0	9,53
К-43260	Франция	40,0	129,0	42,7	3,4	0,0	-3,7	0,87

Коэффициент стабильности σ_d^2 , отражающий связь между условиями выращивания и урожайностью семян образцов за годы наблюдений и рассчитанный на основе теоретической урожайности и отклонения теоретической величины от фактической, варьировал от 0,01 до 74,70. Такой размах варьирования, очевидно, свидетельствует о том, что в наборе имеются образцы, устойчивость продуктивности которых обусловлена генетически и достоверно превышает изменчивость средней всего набора.

Оценки различий по стабильности урожайности методика предлагает получать с помощью F-критерия: $F_{\text{факт}} = \sigma_d^2(1)/\sigma_d^2(2)$, где $\sigma_d^2(1) > \sigma_d^2(2)$.

В нашем случае $F_{05} = 4,215$ при $df_1 = 29$, $df_2 = 1$. В сравнении со стандартом, как сортом,

дающим стабильную по годам урожайность семян, обнаружено достоверное различие по этому признаку у образцов К-43272, К-50545, К-50561.

Выводы. По результатам проведенных исследований выделилась в опыте большая группа образцов с $b_i < 1$. Эти образцы важны как генотипы, имеющие слабую реакцию урожайности семян на худшие условия. Их нужно будет использовать в скрещиваниях для получения исходного материала, пластичного по признаку «урожайность семян» в жестких условиях. Наименьший коэффициент b_i выявлен у К-42694 (0,20), К-32783 (0,22) и К-47804 (0,29). В сравнении со стандартом обнаружено достоверное различие по стабильности урожайности семян у образцов К-43272, К-50545, К-50561.

Библиографические ссылки

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.
2. Жученко А.А. Адаптивные системы селекции растений (эколого-генетические основы). М.: ООО «ОГО Русь», 2011. 1488 с.
3. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С., Чанышев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). Уфа, 2011. 97 с.
4. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Недорезков В.Д., Исмаилов Р.Р., Кадиков Р.К., Исламгулов Д.Р. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа, 2005. 100 с.
5. Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Буин Н.П. Изменение климатических условий в Южной зоне Ростовской области в период вегетации кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2014. № 1(31). С. 44–50.
6. Мазур И.И., Иванов И.П. Опасные природные процессы. М.: Экономика, 2004. 702 с.
7. Сапрыкин С.В., Золотарев В.Н., Иванов И.С., Степанова Г.В., Сапрыкина Н.В., Лабинская Р.М. Научные основы селекции и семеноводства многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России. Научное издание. Воронеж: АО «Воронежская областная типография», 2020. 496 с.
8. Косев В., Керткова Д. Экологическая стабильность на образцы люцерны по основным количественным признакам // Bulgarian Journal of Crop Science. 2019. 56(2). С. 9–19.
9. Bouton J.H. Breeding lucerne for persistence // Crop and Pasture Science. 2012. 63(2). P. 95–106.
10. Moysés N., Adésio F., Nascimento C., Carolina A., Fabyano S.F., Ferreira P., Cruz R., Damião C. Multiple centroid method to evaluate the adaptability of alfalfa genotypes // Revista Ceres. 2015. 62(1). P. 30–36.
11. Nascimento M., Peternelli L.A., Cruz C.D., Nascimento A.C.C., Ferreira R.D.P., Bhering L.L., Salgado C.C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2013. 13(2). P. 152–156.
12. Yan W. Analysis and handling of GxE in a practical breeding program // Crop Science. 2016. 56(5). P. 2106–2118.
13. Yeagao H., Cash D., Kechang L., Suqin W., Ping Z., Rong G. Global status and development trends of alfalfa // In Alfalfa management guide for Ningxia. 2009. P. 1–14. FAO.

References

1. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of study results)]: uchebnik dlya vysshih sel'skohozyajstvennyh uchebnyh zavedenij. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
2. Zhuchenko A.A Adaptivnye sistemy selekcii rastenij (ekologo geneticheskie osnovy) [Adaptive systems of plant breeding (ecological and genetic basis)]. M.: OOO «OGO Rus'», 2011. 1488 s.
3. Zykin V.A., Belan I.A., YUsov V.S., Kiraev R.S. CHanyshchev I.O. Ekologicheskaya plastichnost' sel'skohozyajstvennyh rastenij (metodika i ocenka) [Ecological adaptability of agricultural plants (methodology and estimation)]. Ufa, 2011. 97 s.
4. Zykin V.A., Belan I.A., YUsov V.S., Nedorezkov V.D., Ismailov R.R., Kadikov R.K., Islamgulov D.R. Metodika rascheta i ocenki parametrov ekologicheskoy plastichnosti sel'skohozyajstvennyh rastenij [Methodology for calculating and estimating the parameters of the ecological adaptability of agricultural plants]. Ufa, 2005. 100 s.
5. Krivosheev G.YA., Ignat'ev A.S., Buin N.P. Izmenenie klimaticheskikh uslovij v YUzhnoj zone Rostovskoj oblasti v period vegetacii kukuruzy [Climate changes in the southern part of the Rostov region during the vegetation period of maize]// Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2014. № 1(31). S. 44-50.
6. Mazur I.I., Ivanov I.P. Opasnye prirodnye processy [Hazardous natural processes]. M.: Ekonomika, 2004. 702 s.
7. Saprykin S.V., Zolotarev V.N., Ivanov I.S., Stepanova G.V., Saprykina N.V., Labinskaya R.M. Nauchnye osnovy selekcii i semenovodstva mnogoletnih trav v Central'no-CHernozemnom regione Rossii [Scientific bases of breeding and seed production of perennial grasses in the Central Blackearth region of Russia]. Nauchnoe izdanie. Voronezh: AO «Voronezhskaya oblastnaya tipografiya», 2020. 496 s.
8. Kosev V., Kertikova D. Ekologichna stabilnost na obrazci lyucerna po osnovni kolichestveni priznaci // Bulgarian Journal of Crop Science. 2019. 56(2). S. 9–19.
9. Bouton J.H. Breeding lucerne for persistence // Crop and Pasture Science. 2012. 63(2). P. 95–106.
10. Moysés N., Adésio F., Nascimento C., Carolina A., Fabyano S.F., Ferreira P., Cruz R., Damião C. Multiple centroid method to evaluate the adaptability of alfalfa genotypes // Revista Ceres. 2015. 62(1). P. 30–36.
11. Nascimento M., Peternelli L.A., Cruz C.D., Nascimento A.C.C., Ferreira R.D.P., Bhering L.L., Salgado C.C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2013. 13(2). P. 152–156.
12. Yan W. Analysis and handling of GxE in a practical breeding program // Crop Science. 2016. 56(5). P. 2106–2118.
13. Yeagao H., Cash D., Kechang L., Suqin W., Ping Z., Rong G. Global status and development trends of alfalfa // In Alfalfa management guide for Ningxia. 2009. P. 1–14. FAO.

Поступила: 2.07.21; принята к публикации: 22.07.21.

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. Игнат'ев С.А., Регидин А.А., Кравченко Н.С. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633.112:631.52(470.47)

DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-34-38

ОПЫТ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ТВЕРДЫХ ПШЕНИЦ В УСЛОВИЯХ КАЛМЫКИИ

Б.А. Гольдварг¹, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела аридного земледелия, кормопроизводства, селекции и семеноводства, gb_kniish@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4791-7783;

М.В. Боктаев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела аридного земледелия, кормопроизводства, селекции и семеноводства, mergenboktaev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3377-4987;

А.А. Мудрова², доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, mudrova.alya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8144-4612

¹КНИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», 358011, г. Элиста, пл. О.И. Городовикова, 1;

²ФГБНУ «НЦЗ им. П.П. Лукьяненко», 350012, г. Краснодар-12, ц/у КНИИСХ

В Республике Калмыкия в 2016-2020 гг. площадь под озимой твердой пшеницей занята сортами совместной селекции Калмыцкого научно-исследовательского института сельского хозяйства им. М.Б. Нармаева – филиал ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук» (КНИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН») и ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко) Кермен и селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской» Кристелла. В статье приведены результаты изучения урожайности и качества зерна сортов Кермен и Кристелла на опытном поле КНИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» за последние пять лет. Цель исследований – оценить сорта озимой твердой пшеницы по признакам урожайности и качества зерна для рекомендации и более широкого внедрения их в производство. В условиях опытного поля КНИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» в среднем за пять лет (2016–2020 гг.) преимущество сорта Кермен над сортом Кристелла составило 0,56 т/га, или 14,2%. Следует отметить, что максимальную урожайность (5,88 т/га) показал в 2016 г. сорт Кристелла, который для производителей является надежным дополнением к сорту Кермен. Сорта Кермен и Кристелла при высокой урожайности формируют зерно с достаточно высоким содержанием белка и клейковины, отвечающим согласно ГОСТу 9353-2016 требованиям I–III класса для озимой твердой пшеницы. Более высокие показатели качества выявлены у сорта Кристелла.

Ключевые слова: озимая твердая пшеница, сорт, урожайность.

Для цитирования: Гольдварг Б.А., Боктаев М.В., Мудрова А.А. Опыт возделывания твердых пшениц в условиях Калмыкии // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 34–38. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-34-38.



THE EXPERIENCE OF DURUM WHEAT CULTIVATION IN THE CONDITIONS OF KALMYKIA

B.A. Goldvarg¹, Candidate of Agricultural Sciences, main researcher of the department of arid agriculture, forage and seed production, ORCID ID: 0000-0003-4791-7783;

M.V. Boktaev¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the department of arid agriculture, forage and seed production, mergenboktaev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3377-4987;

A.A. Mudrova², Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the department of wheat and triticale breeding and seed production, mudrova.alya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-8144-4612

¹Kalmykia Research Agricultural Institute named after M.B. Narmaev, a branch of the "Pre-Kaspy Agricultural Federal Research Center RAS", 358011, Elista, Gorodovikov O.I. Sq., 1; e-mail: gb_kniish@mail.ru;

²National Center of grain named after P.P. Lukyanenko, 350012, Krasnodar-12, Central estate of KRIA; e-mail: kniish@kniish.ru

In 2016–2020 in the Republic of Kalmykia the winter durum wheat area was sown by the variety 'Kermen' of joint development by the Kalmykia Research Agricultural Institute named after M.B. Narmaev, a branch of the "Pre-Kaspy Agricultural Federal Research Center RAS" (KRAI, a branch of the PkAFRC RAS) and the FSBSI "National Center of grain named after P.P. Lukyanenko", and the variety 'Kristella' developed by the FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy". The current paper has presented the study results of productivity and grain quality of the varieties 'Kermen' and 'Kristella' on the experimental plot of the KRAI, a branch of the PkAFRC RAS over the past five years. The purpose of the study was to evaluate the winter durum wheat varieties according to the traits of productivity and grain quality for giving recommendations and their further introduction into production. In the conditions of the experimental plot of the KRAI, a branch of the PkAFRC RAS, over five years the mean productivity of the variety 'Kermen' exceed-

ed that of the variety 'Kristella' on 0.56 t/ha, or 14.2%. There should be noted that the variety 'Kristella' showed the maximum productivity (5.88 t/ha) in 2016, which was a reliable addition to the variety 'Kermen'. The varieties 'Kermen' and 'Kristella' have formed grain with a sufficiently high percentage of protein and gluten, which according to GOST 9353-2016, meets the requirements of the 1st and 3rd class for winter durum wheat. There were identified higher quality indicators in the variety 'Kristella'.

Keywords: winter durum wheat, variety, productivity.

Введение. Зернотвердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) – это ценное сырье для получения разного вида макаронных и крупяных изделий, которые являются продуктами для здорового и диетического питания благодаря находящимся в зерне витаминам (B1-24,7%; B3-24,0%; B6-30,0%; PP-36,5%), минералам и пищевым волокнам (Кравченко и др., 2020).

Выбор сорта – определяющий фактор интенсификации агротехнологий и в то же время самый малозатратный. Только благодаря правильному подбору сорта можно повысить урожайность культуры на 30–50%. На этапе выбора сорта определяющими факторами являются урожайность и качество продукции, а также возможность выращивания в конкретных почвенно-климатических условиях, устойчивость к болезням, вредителям и сорной растительности, морозо- и зимостойкость, устойчивость к полеганию и осыпанию, то есть адаптивность к неблагоприятным условиям возделывания (Алабушев и др., 2011).

В Республике Калмыкия в основном посевы твердой пшеницы сосредоточены в западной и центральной зоне.

Цель исследований – оценить сорта озимой твердой пшеницы по признакам урожайности и качества зерна для рекомендации и более широкого внедрения их в производство.

Материалы и методы исследований. Экспериментальная работа выполнялась в 2016–2020 гг. на опытном поле Калмыцкого НИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАНЦ РАН» в СПОК «Агронива» Целинного района Республики Калмыкия.

Опыты закладывали в четырехкратной повторности, расположение вариантов – систематическое. Общая площадь делянки – 60 м², учетная – 50 м². Норма высева – 400 шт. всхожих семян на 1 м². Предшественник – черный пар.

Учеты, наблюдения и оценку изучаемых сортов проводили согласно «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (2019).

Математическую обработку результатов исследований проводили по методике Б.А. Доспехова (1985).

В 2015–2016 гг. условия увлажнения и температурный режим сложились наиболее благоприятно для роста и развития растений озимой твердой пшеницы за последние десятилетия, что позволило получить необычно высокие уровни урожайности для аридных условий Калмыкии. Сумма осадков за год превысила норму на 20,8%, а среднегодовая температура воздуха оказалась выше на 2,7 °C. Такие условия способствовали своевременному и дружному появлению всходов озимой твердой пшеницы, которые к началу зимнего покая

получили хорошее развитие, сформировали мощную корневую систему и достаточно раскустились. Зима оказалась намного теплее обычного. Среднемесячная температура весеннего периода на 2,3 °C превышала среднегодовую норму (8,8 °C). Большое количество весенних осадков на фоне высоких запасов влаги в метровом слое почвы способствовало активному началу весенней вегетации озимых культур. В июне выпало 77,3 мм осадков, что удачно повлияло на формирование и налив зерна озимой твердой пшеницы.

Среднегодовая температура воздуха в 2016–2017 гг. на 0,5 °C превышала норму (9,4 °C). Количество осадков на 53 мм превышало многолетнее количество (351,0 мм), сезонные гидротермические параметры также отличались от среднегодовых норм. Осадки положительно влияли на осеннее развитие озимых культур. Теплая и снежная зима предотвратила гибель растений озимой твердой пшеницы. Среднемесячная температура весеннего периода на 1,8 °C превышала среднегодовую норму (8,8 °C). По количеству осадков весна на 70,3 мм превышала нормативный (84,0 мм) показатель. Наиболее дождливым отмечался май (121,8 мм при норме 35,0 мм). Лето наступило в календарные сроки. В июне выпало 29,7 мм осадков, что способствовало хорошему формированию и наливу зерна озимой твердой пшеницы.

Среднегодовая температура воздуха в 2017–2018 гг. на 2,0 °C превышала норму. Количество осадков на 72,5 мм уступало многолетним данным. Осень была продолжительной, теплой, сухой. Наличие снежного покрова и отсутствие низких отрицательных температур зимой предотвратило гибель растений озимой твердой пшеницы. Среднемесячная температура весеннего периода на 2,0 °C превышала среднегодовую норму (8,8 °C). Осадков в весенний период выпало на 10,6 мм меньше нормы (84,0 мм). Наиболее дождливым отмечался март (55,5 мм при норме 22,0 мм). Лето наступило в календарные сроки. В июне выпало 0,6 мм осадков, что отрицательно повлияло на формирование и налив зерна озимой твердой пшеницы.

Среднегодовая температура воздуха в 2018–2019 гг. на 1,9 °C превышала норму. Количество осадков на 24,1 мм превосходило многолетние данные. Осень была продолжительной, теплой, сухой. Среднемесячная температура зимнего периода составила -1,3 °C при среднегодовой -4,2 °C, что на 2,9 °C выше нормы. Отсутствие низких отрицательных температур предотвратило гибель сортов озимых культур. Среднемесячная температура весеннего периода на 2,3 °C превышала сред-

немноголетнюю норму (8,8 °С). Осадков в весенний период выпало на 32,8 мм больше нормы (84,0 мм). Дождливими были апрель (48,8 мм) и май (49,3 мм), при норме 27,0 и 35,0 соответственно. Лето наступило в календарные сроки. В июне выпало 4,2 мм осадков, что отрицательно повлияло на формирование и налив зерна озимой твердой пшеницы.

Среднегодовая температура воздуха в 2019–2020 гг. на 2,7 °С превышала норму. Количество осадков на 52,5 мм уступало многолетним данным. Осень была продолжительной, теплой, с большим количеством осадков в первой половине (сентябрь – I декада октября). Осадки положительно влияли на осеннее развитие озимых культур. Зима по температурному режиму может характеризоваться аномально теплой, так как среднемесячная температура зимнего периода составила 3,8 °С при среднемноголетней -4,2 °С, что на 8,0 °С выше нормы. Аномально теплая зима предотвратила гибель растений озимой твердой пшеницы. Среднемесячная температура весеннего

периода на 1,8 °С превышала среднемноголетнюю норму (8,8 °С). Осадков в весенний период выпало на 6,0 мм больше нормы (84,0 мм). Дождливой была последняя декада мая 48,6 мм, что положительно повлияло на формирование и налив зерна озимых культур. В июне выпало 19,6 мм осадков.

Результаты и их обсуждение. Общеизвестно, что основным зимним повреждающим фактором является очень низкая температура почвы на глубине узла кущения, приводящая к вымерзанию посевов.

Наблюдаемые в мире изменения климата благоприятны для зимовки озимой твердой пшеницы, так как из-за потепления зим вероятность вымерзания посевов сократилась (Тарасова, 2016).

В таблице 1 приведена сравнительная урожайность сортов озимой твердой пшеницы Кермен и озимой мягкой пшеницы Баир, являющегося стандартом в Госсортоиспытании данной культуры на Элистинском ГСУ Республики Калмыкия.

1. Урожайность сортов озимой твердой и мягкой пшеницы на Элистинском ГСУ, т/га (2017–2019 гг.)

1. Productivity of the winter durum and bread wheat varieties at the Elista SVT, t/ha (2017–2019)

Сорт, культура	Годы			Среднее
	2017	2018	2019	
Озимая мягкая пшеница Баир	3,35	1,16	2,58	2,36
Озимая твердая пшеница Кермен	3,3	1,68	3,91	2,96

В условиях 2017–2019 гг. преимущество сорта озимой твердой пшеницы Кермен над сортом озимой мягкой пшеницы Баир составило 0,6 т/га, прибавка урожайности в 2019 г. достигала 1,33 т/га.

Следует отметить, что в зимний период в годы исследований температура почвы на глубине залегания узла кущения не опускалась ниже критического уровня (-18...-22 °С). В 2016 году в наиболее холодную погоду в начале января минимальная температура почвы на глубине узла кущения озимых понижалась до -8...-9 °С, в первой половине февраля 2017 г. – до -10...-12 °С, в середине января 2018 г. – до -7...-8 °С, в начале января 2019 г. – до -3...-4 °С, в начале января 2020 г. – до -1...-2 °С.

В 2015 году в СПК «Имени Карла Маркса» Яшалтинского района Республики Калмыкия получена урожайность сорта Кермен 4,25 т/га при урожайности сортов мягкой пшеницы от 3,64 до 4,77 т/га.

В Республике Калмыкия в среднем за последние пять лет (2016–2020 гг.) площадь, занимаемая озимой твердой пшеницей, составила 1,0% от общей площади, занимаемой озимыми культурами. Засеваемую площадь занимали сорт Кермен и сорт селекции «АНЦ «Донской» Кристелла.

В связи с этим в таблице 2 показаны результаты изучения сортов Кермен и Кристелла по показателю «урожайность» в условиях опытного поля КНИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» (Целинный район Республика Калмыкия).

2. Урожайность сортов озимой твердой пшеницы, т/га 2. Productivity of the winter durum wheat varieties, t/ha

Сорт	Годы					Среднее
	2016	2017	2018	2019	2020	
Кермен	5,73	5,31	2,97	3,89	4,56	4,49
Кристелла	5,88	4,44	1,56	3,4	4,36	3,93
НСП ₀₅	0,31	0,25	0,65	0,51	0,43	–

В среднем за пять лет преимущество сорта Кермен над сортом Кристелла составило 0,56 т/га. Следует отметить, что максимальную урожайность (5,88 т/га) показал в 2016 г. сорт Кристелла, который для производственни-

ков является надежным дополнением к сорту Кермен.

В связи с увеличением спроса на макаронные изделия и автоматизацией их производства повышаются требования к качеству зер-

на пшеницы. Сорты твердой пшеницы должны быть коммерчески ценными: стабильно формировать высокую урожайность зерна с отличными показателями качества (Голик, 1996).

В России одним из основных показателей качества зерна считается массовая доля клейковины и группа качества клейковины по ИДК-1.

За рубежом основным технологическим показателем оценки качества зерна принято считать содержание белка с учетом SDS-показателя и данных миксографической оценки (Крупнова и Воронина, 1999). Качество пасты в значительной степени определяется массовой долей клейковины, формируемой на основе белковых веществ в зерне, которые являются незаменимыми компонентами для образования структуры пасты (Padalino L et al., 2014; Agnelo Sicignano et al., 2015).

Международные эксперты считают, что макронные качества в используемом сырье формируются

на 40% количеством клейковины, на 40% ее качеством и на 20% содержанием каротиноидных пигментов (Sisson, 2008).

Селекция озимой твердой пшеницы ФГБНУ НЦЗ им. П.П. Лукьяненко на первом – втором этапах была направлена на создание озимых форм твердой пшеницы, а затем на их улучшение в сторону снижения высоты растений. Совместный сорт Кермен относится к третьему этапу селекции озимой твердой пшеницы. На третьем этапе селекционная программа была направлена на создание сортов, которые по продуктивности могли бы конкурировать с сортами озимой мягкой пшеницы и при этом сохранять высокое качество зерна.

Наши исследования качества зерна озимой твердой пшеницы, проведенные на приборе «INFRATEK 1241» в НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, представлены в таблице 3.

3. Качество зерна озимой твердой пшеницы 3. Grain quality of the winter durum wheat

Показатели	Годы					Среднее
	2016	2017	2018	2019	2020	
Кермен						
Содержание белка,%	12,9	11,8	14,3	12,3	15,1	13,3
Содержание клейковины,%	23,6	21,3	22,5	19,9	27,7	23,0
SDS, ед.прибора	36,0	32,5	51,1	40,2	53,2	42,6
Кристелла						
Содержание белка,%	13,0	13,4	14,3	12,8	15,2	13,7
Содержание клейковины,%	23,0	24,3	26,2	20,5	26,6	24,1
SDS, ед.прибора	36,6	47,7	40,5	40,3	51,2	43,3

В результате селекции удалось значительно ослабить отрицательную корреляцию между продуктивностью и содержанием белка в зерне. Сорт Кермен при высокой урожайности формирует зерно с достаточно высоким содержанием белка и клейковины. Сорта Кермен и Кристелла формируют зерно, отвечающее согласно ГОСТу 9353-2016 требованиям I–III класса для озимой твердой пшеницы. Более высокие показатели качества выявлены у сорта Кристелла.

Выводы

1. Создание и включение в Госреестр по Северо-Кавказскому и Нижневолжскому регионам высокопродуктивного сорта озимой твердой пшеницы Кермен стало одним из успехов в совместной селекционной работе КНИИСХ – филиал ФГБНУ «ПАФНЦ РАН» и НЦЗ им. П.П. Лукьяненко.

2. В среднем за пять лет преимущество сорта Кермен над сортом Кристелла составило

0,56 т/га. Следует отметить, что максимальную урожайность (5,88 т/га) показал в 2016 г. сорт Кристелла, который для производителей является надежным дополнением к сорту Кермен.

3. Сорта Кермен и Кристелла формируют зерно, отвечающее согласно ГОСТу 9353-2016 требованиям I–III класса для озимой твердой пшеницы. Более высокие показатели качества выявлены у сорта Кристелла.

4. Целенаправленная селекционная работа с озимой твердой пшеницей, проводимая в ФГБНУ НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, ФГБНУ «АНЦ «Донской» и других селекционных центрах России, безусловно, существенно увеличила урожайность этой культуры, что позволило ей конкурировать по продуктивности с сортами озимой мягкой пшеницы и при этом сохранять высокое качество зерна. Это должно положительно сказаться на занимаемой ею площади.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А.В., Гуреева А.В. Семеноводство зерновых культур в России // Земледелие. 2011. № 6. С. 6–7.
2. Голик В.С. Селекция *Triticum durum* Desf. Харьков, 1996. 387 с.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Крупнова О.В., Воронина С.А. Седиментационная и миксографическая оценка линий яровой мягкой пшеницы // Актуальные проблемы селекции и семеноводства зерновых культур Юго-Восточного региона Российской Федерации: Тез. науч.-практ. конф. Саратов, 1999. С. 89–91.

5. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. М.: ООО «Группа Компаний Море», 2019. 384 с.
6. Тарасова Л.П. Оценка агрометеорологических показателей условий зимовки озимых зерновых культур в центральных черноземных областях в условиях климатических изменений // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 360. С. 26–44.
7. Agnello Sicignano, Rossella Di Monaco, Paolo Mais and Silvana Cavella. From raw material to dish: pasta quality // Journal of the Science of Food and Agriculture-March 2015. DOI:10.1002/lsfa.7176. Source: PubMed.
8. Padalino L., Mastromatteo M., Lesse L., Spinelli S., Conto F and Del Nobile M.A. Effect of durum wheat cultivars on physico-chemical and sensory properties of spaghetti // I Sci Food Agric 94: 2196–2204 (2014). DOI:10.1002/lsfa.6537
9. Sisson M. Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bread / M. Sisson // Food 2(2) Global Science Books. 2008. pp. 75–90.

References

1. Alabushev A.V., Gureeva A.V. Semenovodstvo zernovykh kul'tur v Rossii [Seed production of grain crops in Russia] // Zemledelie. 2011. №6. S. 6–7.
2. Golik V.S. Seleksiya *Triticum durum* Desf. [*Triticum durum* Desf. breeding] Kharkov, 1996. 387 p.
3. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta [Methodology of a field trial]. M.: Agropromizdat, 1985. 351 s.
4. Krupnova O.V., Voronina S.A. Sedimentatsionnaya i miksograficheskaya otsenka liniy yarovoy myagkoy pshenitsy [Sedimentation and mixographical estimation of spring bread wheat lines] // Actual problems of breeding and seed production of grain crops in the South-East region of the Russian Federation: Abstracts. scientific-practical conf. Saratov, 1999. S. 89–91.
5. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozaystvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. Vyp. 1. M.: ООО «Группа Компаний Море», 2019. 384 s.
6. Tarasova L.P. Otsenka agrometeorologicheskikh pokazateley usloviy zimovki ozimyykh zernovykh kul'tur v tsentral'nykh chernozemnykh oblastyakh v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy [Estimation of agrometeorological indicators of winter grain crops' wintering in the central blackearth (chernozem) regions under weather changes] // Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation. 2016. No. 360. S. 26–44.
7. Agnello Sicignano, Rossella Di Monaco, Paolo Mais and Silvana Cavella. From raw material to dish: pasta quality // Journal of the Science of Food and Agriculture-March 2015. DOI:10.1002/lsfa.7176. Source: PubMed.
8. Padalino L., Mastromatteo M., Lesse L., Spinelli S., Conto F and Del Nobile M.A. Effect of durum wheat cultivars on physico-chemical and sensory properties of spaghetti // I Sci Food Agric 94: 2196–2204 (2014). DOI:10.1002/lsfa.6537.
9. Sisson M. Role of Durum Wheat Composition on the Quality of Pasta and Bread / M. Sisson // Food 2(2) Global Science Books. 2008. pp. 75–90.

Поступила: 15.12.20; принята к публикации: 21.06.21.

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. Гольдварг Б.А., Боктаев М.В. – концептуализация и проектирование исследования, закладка опыта, фенологические наблюдения, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Мудрова А.А. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУР СЕВООБОРОТОВ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ

С. А. Замятин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом технологии возделывания сельскохозяйственных культур, zamyatin.ser@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3999-9179;

Р. Б. Максимова, старший научный сотрудник отдела технологии возделывания сельскохозяйственных культур, ORCID ID: 0000-0002-0324-8525

Мари́йский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», 425231, Республика Марий Эл, Медведевский район, п. Руэм, ул. Победы, д. 10; e-mail: via@mari-el.ru

Представлены результаты многолетних опытов по изучению биологической активности дерново-подзолистого почвенного агроценоза методом в полевых севооборотах. Экспериментальная часть работ была выполнена в полевых условиях на опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 1996–2020 гг. на опытах, заложенных в 1996 и 1998 гг. Закладка опыта – 2-х факторная: фактор А – виды севооборотов: 1. Зернотравяной (овес + клевер, клевер 1 года пользования, озимые, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, ячмень – контроль); 2. I плодосменный (однолетние зернобобовые травы, озимые, ячмень, картофель, викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница); 3. II плодосменный (викоовсяная смесь на зерно, яровая пшеница, картофель с внесением навоза (80 т/га), ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, озимые); 4. III плодосменный севооборот (ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, клевер 2 года пользования, озимые, картофель, овес); фактор Б – внесение минеральных удобрений: контроль (без удобрений); $N_{60}P_{60}K_{60}$. Установлено, что, активность почвенной микрофлоры главным образом зависела от наличия в почве органического вещества. Наибольшая активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов на естественном фоне плодородия отмечалась во II плодосменном севообороте, с внесением навоза под картофель – 23,9% в первый срок (45 дней) и 54,7% во второй срок (90 дней) экспозиции. Наименьшая биологическая активность почвы отмечена в зернотравяном севообороте (83% зерновых) – 17,7% за первые 45 дней и 43,4% – во второй срок экспозиции. Это обусловлено дефицитом органических веществ из-за отсутствия их поступления. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ под предпосевную культивацию достоверно повышало биологическую активность почвы по отношению к необудобренному фону, причём достаточно высокая интенсивность разложения льняного полотна наблюдалась во II плодосменном севообороте – за первые 45 дней – 24,9%, за 90 дней – 56,8%. Корреляционный анализ (1998–2019 гг.) между средним разложением льняного полотна под культурами за весь период вегетации и значением гидротермического коэффициента (ГТК) показал тесную прямую зависимость, которая в первый и второй сроки экспозиции составила 0,87–0,90 и 0,86–0,89 соответственно.

Ключевые слова: севооборот, биологическая активность почвы, минеральные удобрения, органические удобрения, аппликационный метод.

Для цитирования: Замятин С.А., Максимова Р.Б. Влияние культур севооборотов на биологическую активность почвы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 39–44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-39-44.



THE EFFECT OF CROP ROTATION ON THE SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY

S.A. Zamyatin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the department of grain crop cultivation technologies, zamyatin.ser@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-3999-9179

R.B. Maksimova, senior researcher of the department of grain crop cultivation technologies, ORCID ID: 0000-0002-0324-8525

Mari Research Institute of Agriculture, a branch of the FSBSI FARC of the North-East named after N.V. Rudnitsky,

425231, Republic of Mari El, Medvedevsky district, v. of Ruem, Pobeda Str., 10; e-mail: via@mari-el.ru

The current paper has presented the results of long-term experiments on the study of the biological activity of sod-podzolic soil by the application method in field crop rotations. The experimental part of the work was carried out on the experimental plots of the Mari Research Institute of Agriculture, a branch of the FSBSI FARC of the North-East in 1996–2020. The trials were laid down in 1996 and 1998. The trial was laid down in two factors. Factor A included such types of crop rotations as grain-grasses crop rotations (oats + clover, clover of 1 year of use, winter crops, vetch-oat mixture for grain, spring wheat, barley as a control grain crop); the first rotation of crops (annual leguminous grasses, winter crops, barley, potatoes, vetch-oat mixture for grain, spring wheat); the second rotation of crops (vetch-oat mixture for grain, spring wheat, potatoes fertilized with manure (80 t/ha), barley + clover, clover of 1 year of use, winter crops); the third rotation of crops (barley + clover, clover of 1 year of use, clover of 2 years of use, winter crops, potatoes, oats). Factor B included application of mineral fertilizers: control grain crop (without fertilizers); $N_{60}P_{60}K_{60}$. There has been established that the activity of soil microflora mainly depended on the presence of organic matter in the soil. The largest activity of cellulose-destroying microorganisms against a natural background of fertility was identified in the second rotation of crops, with the introduction 23.9% of manure for potatoes in the first period (45 days) and 54.7% in the second period (90 days) of exposure. The slightest biological activity of the soil was identified in the grain-grasses

crop rotation (with 83% of grain crops); it was 17.7% in the first 45 days and 43.4% in the second period of exposure. That was caused by the deficit of organic matter. The introduction of mineral fertilizers in a dose of $N_{60}P_{60}K_{60}$ under pre-sowing tillage significantly increased the soil biological activity in comparison to the unfertilized background, and a fairly high intensity of flax decomposition was observed in the second rotation of crops with 24.9% in 45 days and 56.8% in 90 days. Correlation analysis (1998-2019) between the mean flax decomposition under crops for the entire vegetation period and the value of the hydrothermal coefficient (HThC) showed a close direct correlation, which in the first and second periods of exposure was 0.87–0.90 and 0.86–0.89, respectively.

Keywords: crop rotation, soil biological activity, mineral fertilizers, organic fertilizers, application method.

Введение. Плодородие почвы и его рациональное использование в сельскохозяйственном производстве во многом определяется интенсивностью и направленностью биохимической деятельности микроорганизмов. Последнее определяет скорость трансформации различных соединений, разложения растительных остатков, накопление элементов питания растений и в конечном итоге плодородия почвы. Активность почвенной флоры, главным образом, зависит от наличия в почве органического вещества при благоприятном сочетании температуры, влажности и плотности. Органическое вещество, консервирующее энергию солнца в химически связанной форме – единственный источник энергии для развития почвы, формирования её плодородия (Kuzminykh et al., 2020).

Микробиологическая активность почвы также существенно изменяется под влиянием минеральных удобрений. Внесение минеральных удобрений увеличивает биологическую активность почвы на 3–6% по сравнению с контролем. Недобор атмосферных осадков при повышенном температурном режиме препятствует интенсивному распаду льняного полотна, характеризующего микробиологическую активность почвы, при этом процессы разложения целлюлозы приостанавливаются (Общая и Хрипунова, 2019).

Важная характеристика растений в севообороте – почвоулучшающая способность, благодаря их пожнивным и корневым остаткам. Севообороты с научно обоснованной структурой оказывают многогранное влияние на сложные биохимические процессы, протекающие в почве, и взаимоотношения культурных растений друг с другом и почвенными микроорганизмами. Чередование культур в севообороте приводит к изменению состава и биохимической деятельности микроорганизмов. Это происходит потому, что в севообороте выращиваются культуры, разные по биологии, химическому составу корневых остатков и технологии возделывания (Kuzminykh et al., 2020).

Многие зарубежные учёные подчёркивают огромную роль растительных остатков. По их мнению, они формируют целые сообщества из почвенных организмов, которые стимулируют структурную устойчивость у почвы (Bardgett et al., 2014; Bisen и Rahangdale, 2017; Hirte et al., 2017; Philippot et al., 2013).

В современной агрономии существуют разные методы определения биологической активности почвы. Один из методов является определение целлюлозоразрушающей способности почвы методом аппликации. Аппликационные методы диагностики почв позволяют проследить состояние живой компоненты почв на определённом временном отрезке. Определение целлюлолитической способности почв методом аппликации даёт ценную информацию о превращении лабильной фракции органического вещества и активности целлюлолитического комплекса (Замятин и Апаева, 2014). Метод аппликации весьма показателен при решении ряда агрономических вопросов. С его помощью хорошо выявляется интенсивность процессов в различных слоях пахотного горизонта, устанавливается влияние различных удобрений, мелиорирующих средств и т.д. При этом известно, что разложение целлюлозы осуществляется самыми разными в систематическом отношении микроорганизмами: микробактериями, актиномицетами, грибами, аэробными и анаэробными бактериями (Замятин и Апаева, 2014).

Уровень накопления фитомассы и интенсивность её разрушения в почве зависят от вида сельскохозяйственных культур. Некоторые литературные данные подтверждают, что регулирование интенсивности биологических процессов в почве наиболее эффективно возможно только в севооборотах, основанных на принципах плодосмены (Берестецкий, 1984).

Исходя из выше изложенного, отделом технологий Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока с целью выявления биологической активности почвы были проведены опыты под культурами экспериментальных полевых севооборотов, заложенных в 1996 и 1998 годах.

Материалы и методы исследований. Одним из важнейших факторов плодородия почвы является жизнедеятельность почвенных микроорганизмов. Для объективной оценки, определения степени и характера влияния минеральных удобрений на жизнедеятельность микроорганизмов в полевых севооборотах на опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 1996–2020 гг. был заложен многолетний двухфакторный опыт.

1. Схема опыта 1. Scheme of the trial

Фактор А (виды севооборотов)	Фактор В (минеральные удобрения)
1. Зернотравяной (овес + клевер, клевер 1 года пользования, озимые, вика/овес на зерно, яровая пшеница, ячмень) – контроль.	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$
2. I плодосменный (вика/овес на зеленую массу, озимые, ячмень, картофель, вика/овес на зерно, яровая пшеница)	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$
3. II плодосменный (вика/овес на зерно, яровая пшеница, картофель (навоз 80 т/га), ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, озимые)	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$
4. III плодосменный (ячмень + клевер, клевер 1 года пользования, клевер 2 года пользования, озимые, картофель, овес)	Без удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$

Из озимых культур озимую пшеницу возделывали в 1997 году и в период с 2000 по 2008 годы. Озимую рожь – в 1999 и в период с 2009 года и по настоящее время. В 1996 году во II плодосменном севообороте взамен вики с овсом на зерно высевали горохоячменную смесь. В 2011 году после засухи 2010 года, когда не взойшёл клевер, высевали однолетние травы – вику с овсом.

Все агротехнические мероприятия проводили в соответствии с зональными рекомендациями.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая. Агрохимические показатели перед началом опыта представлены в таблице 2.

2. Агрохимические показатели почвы пахотного слоя опытного участка (1996 г.) 2. Agrochemical soil parameters of the arable layer of the experimental plot (1996)

Показатели	Единица измерения	Значение
pH (солевой вытяжки)	ед.	5,77
Гидролитическая кислотность	мг-экв / 100 грамм почвы	1,7
Сумма поглощенных оснований	мг-экв / 100 грамм почвы	7,9
P_2O_5 (по Кирсанову)	мг / кг почвы	270
K_2O (по Кирсанову)	мг / кг почвы	130
Гумус по Тюрину	%	1,72

Согласно схеме опыта, минеральные удобрения вносили перед посевом культур поделанно в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата, хлористого калия. Под бобовые культуры азотные удобрения не вносили.

Повторность вариантов трёхкратная, изучаемые делянки размещались систематически. Общая площадь делянок первого порядка – 330, второго – 165 м². Между делянками каждого варианта обработки почвы выделяли защитные полосы.

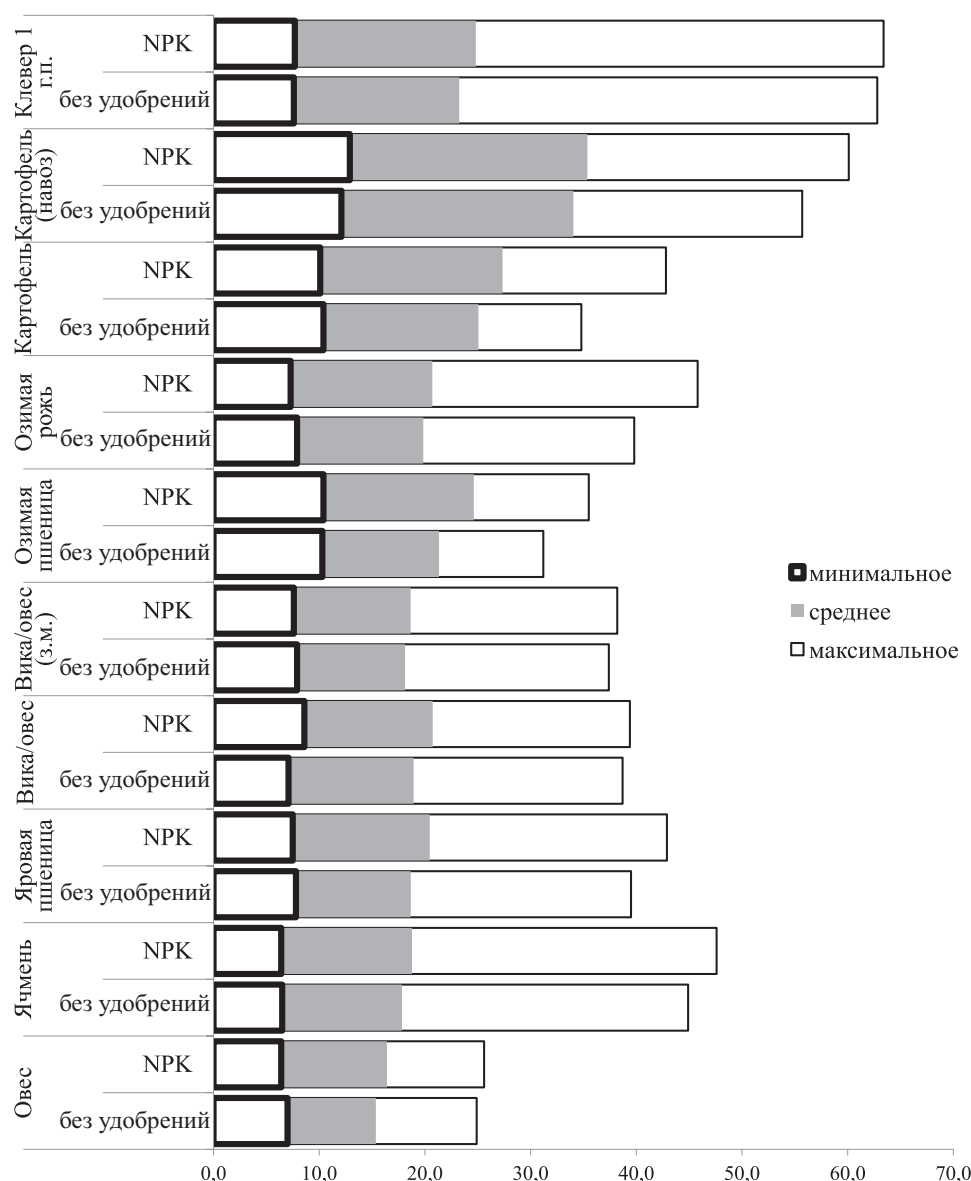
Биологическую активность исследуемых почв определяли аппликационным методом по разложению льняного полотна за вегетационный период с интервалами через 45 и 90 дней. Степень интенсивности разрушения клетчатки оценивали по специальной шкале: очень слабая > 10; слабая – 10–30; средняя – 30–50; сильная – 50–80; очень сильная > 80 (Мишустин и Востров, 1971).

Основные результаты исследований подвергали математической обработке с применением метода дисперсионного и корреляционного анализов на персональном компьютере (Доспехов, 2014).

Погодные условия в годы проведения экспериментов были различны, но в большей части удовлетворительными для роста и развития полевых культур в севооборотах.

Результаты и их обсуждение. Почва, как биологическая система, населена огромным количеством разнообразных микроорганизмов. Почвенные микроорганизмы являются наиболее чувствительными индикаторами, регулирующими азотфиксацию, денитрификацию, изменение водно-воздушного, теплового, пищевого режима, которые контролируют разнообразные процессы, связанные с превращением органических и минеральных соединений почв и удобрений, синтеза и разложения перегноя и т.д.

В длительных полевых стационарных опытах в условиях Республики Марий Эл получены экспериментальные данные о ходе изменения биологической активности дерново-подзолистой почвы под влиянием двух факторов: видов севооборотов и минеральных удобрений (см. рисунок).



Биологическая активность почвы через 45 дней в зависимости от культур севооборотов, % (1996–2020 гг.)
Soil biological activity after 45 days according to crops in rotation, % (1996–2020)

Разрушение целлюлозы является одним из важнейших процессов, происходящих в почве, поэтому скорость разложения её является важным показателем биологической активности почвы. Результаты исследований показали, что разрушение целлюлозы зависит в большей степени от влажности почвы. В среднем за 24 года исследований в первый срок экспозиции (45 дней) наименьшее разложение льняной ткани было под яровыми культурами и составляло 15,4–18,9% на вариантах без удобрений, 16,4–20,7% на вариантах с длительным их применением. На этих культурах в среднем за все годы исследований наименьшее разложение льняного полотна было под овсом и составило 15,4% с разбросом от 7,0 до 24,9%. Наибольший диапазон в разложении льняного полотна находился под ячменем. За 24 года он составил от 6,5 до 44,9%. Под озимыми культурами льняная ткань разложилась в среднем на 19,8–1,3% с диапазоном 7,9–39,8%.

Несколько выше 23,3% плотно разложилось под многолетними бобовыми травами, с очень широким диапазоном от 7,6 до 62,8%. Очевидно, что активность разложения льняной ткани главным образом зависит от наличия в почве органического вещества. При длительном применении минеральных удобрений, интенсивность разложения льняного полотна под полевыми культурами увеличивается в среднем на 7%.

Скорость разложения целлюлозы имела различную динамику во времени и по годам наблюдений. За весь период исследований (7 ротаций в двух закладках) наименьшее разложение льняного полотна наблюдалось в контрольном севообороте и составило за 45 дней экспозиции 18,6% (табл. 3). Немного большее разложение ткани (на 1,2%) было в I плодосменном севообороте ($HCP_{05} = 3,1$). При включении в севооборот многолетних бобовых культур, после которых в почве остается боль-

шая масса богатого азотом легкоразлагающегося органического вещества, биологическая активность почвы значительно повышается. В III плодосменном севообороте, где возделывалось два поля клевера, биологическая активность значительно возросла и в среднем составила 21,9%, что достоверно выше контроля (на 3,3%), но лежит в пределах ошибки опыта по сравнению с I плодосменным севооборотом (на 2,1%). Наибольшее разложение льняного полотна (24,4%) в первый период экспозиции было во II плодосменном севообо-

роте. В этом севообороте наибольшая активность микроорганизмов в почве отмечалась под картофелем, под который вносили навоз в дозе 80 т/га, что усиливало интенсивность разложения льняного полотна, причём положительное влияние органического удобрения начинает проявляться с момента его внесения. Данный севооборот достоверно превышал по целлюлозоразлагающей активности почвы не только контрольный, но и I плодосменный севообороты – на 5,8 и 4,6% соответственно.

3. Биологическая активность почвы по севооборотам, % (1996–2019 гг.) 3. Soil biological activity in crop rotation, % (1996–2019)

Показатели	Фактор Б удобрения	Фактор А севообороты			
		Зернотравяной (83% зерновых)	I плодосменный (67% зерновых)	II плодосменный (67% зерновых)	III плодосменный (50% зерновых)
Разложение полотна за 45 дней, %	Без удобрений	17,7	19,0	23,9	21,2
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,5	20,6	24,9	22,6
	Среднее	18,6	19,8	24,4	21,9
Разложение полотна за 90 дней, %	Без удобрений	43,4	49,1	54,7	52,9
	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	46,4	52,9	56,8	56,0
	Среднее	44,9	51,0	55,8	54,5
НСР ₀₅ частных различий – 4,1 (45 дней); 10,5 (90 дней) фактор А (севооборот) – 3,1 (45 дней); 7,4 (90 дней) фактор В (удобрения) – 0,5 (45 дней); 0,7 (90 дней)					

Высокий процент разложения льняного полотна наблюдался также во II плодосменном севообороте на естественном плодородии почвы. За первые 45 дней он составил 23,9, за 90 дней – 54,7%. Применение минеральных удобрений достоверно повысило разложение льняного полотна по сравнению с неудобренным фоном на 1,0% (НСР₀₅ = 0,5) в первый срок и на 2,1% (НСР₀₅ = 0,7) во второй срок экспозиции.

Проведённый корреляционный анализ между средними показателями разложения льняного полотна под культурами за вегетационный период и значением гидротермического коэффициента (ГТК) показал тесную взаимосвязь, которая в первый срок экспозиции составила 0,87–0,90, во второй – 0,86–0,89.

Таким образом, интенсивность процессов, вызываемых микрофлорой, в каждом случае имеет свои особенности в зависимости от распределения органического вещества, гидро-

термических условий и физиологических особенностей микроорганизмов.

Выводы. Биологическая активность в пахотном слое почвы меняется в течение всего вегетационного периода. Такое изменение зависит от вида сельскохозяйственных культур, от севооборотов в целом, от метеорологических условий. Наибольшая биологическая активность отмечалась под картофелем с внесением навоза во II плодосменном севообороте. К концу вегетации на этом севообороте произошло сильное разложение льняного полотна (55,8%), что на 10,9% выше, чем в контрольном варианте. Существенная целлюлозоразлагающая активность почвы под всеми культурами наблюдается при внесении минеральных удобрений под предпосевную культивацию: во всех исследуемых севооборотах отмечалась сильная степень разрушения льняного полотна – больше 50%. Снижение микробиологической активности почвы происходит при включении в севооборот до 83% зерновых культур.

Библиографические ссылки

1. Берестецкий О.А. Биологические основы повышения плодородия почв // Актуальные проблемы земледелия. М.: Колос, 1984. С. 24–34.
2. Доспехов Б.А. Методы полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд-е, перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Замятин С.А., Апаева Н.Н. Биологическая активность, токсичность почвы и поражение зерновых культур корневыми гнилями в различных севооборотах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 6(43). С. 37–45.
4. Мишустин Е.Н., Востров И.В. Аппликационные методы в почвенной микробиологии и биохимические исследования почв. Киев: Урожай, 1971. С. 3–12.
5. Община Е.Н., Хрипунов А.И. Целлюлозоразлагающая активность почвы в условиях склоновых земель ландшафтов как один из элементов биологической активности почвы // Сельскохозяйственный журнал. 2019. № 2(12). С. 25–28. DOI: 10.25930/004.2.12.2019.
6. Bardgett R.D., Mommer L., De Vries F.T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes // Trends Ecol. Evol. 2014. № 29. Pp. 692–699. DOI:10.1016/j.tree.2014.10.006.

7. Bisen N., Rahangdale C. P. Crop residues management option for sustainable soil health in rise-wheat system: a review // International Journal of Chemical Studies. 2017. № 5(4). Pp. 1038–1042. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318959582_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rise-wheat_sustem_a_review.
8. Hirte J. et al. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter // Front Plant Sci. 2017. № 8. Pp. 284. DOI: 10.3389/fpls.2017.00284.
9. Kuzminykh A.N., Novoselov S.I. and Pashkova G.I. Effect of green manuring on the phytosanitary condition of agrocenosis and the yield of winter rye during the development of fand // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 421 (2020). 022017. doi:10.1088/1755-1315/421/2/022017.
10. Philippot L., Raaijmakers J.M., Lemanceau P., Van der Putten W.H. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere // Nat. Rev. Microbiol. 2013. № 11. pp. 789–799. DOI:10.1038/nrmicro3109.

References

1. Beresteckij O.A. Biologicheskie osnovy povysheniya plodorodiya pochv [Biological bases of soil fertility improvement] // Aktual'nye problemy zemledeliya. M.: Kolos, 1984. S. 24–34.
2. Dospekhov B. A. Metody polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of study results)]. 5-e izd-e, pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Zamyatin S.A., Apaeva N.N. Biologicheskaya aktivnost', toksichnost' pochvy i porazhenie zernovykh kul'tur kornevymi gnilyami v razlichnykh sevooborotakh [Biological activity, soil toxicity and grain crops damage by root rot in various crop rotations] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2014. № 6(43). S. 37–45.
4. Mishustin E.N., Vostrov I.V. Applikacionnye metody v pochvennoj mikrobiologii i biohimicheskie issledovaniya pochv [Application methods in soil microbiology and biochemical study of soils]. Kiev: Urozhaj, 1971. S. 3–12.
5. Obshchiya E.N., Hripunov A.I. Cellyulozorazlagayushchaya aktivnost' pochvy v usloviyakh sklonovykh zemel' landshaftov kak odin iz elementov biologicheskoy aktivnosti pochvy [Cellulose-decomposing soil activity in the conditions of slope landscapes as one of the elements of soil biological activity] // Sel'skokozyajstvennyj zhurnal. 2019. № 2(12). S. 25–28. DOI: 10.25930/004.2.12.2019.
6. Bardgett R.D., Mommer L., De Vries F.T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes // Trends Ecol. Evol. 2014. № 29. Pp. 692–699. DOI:10.1016/j.tree.2014.10.006.
7. Bisen N., Rahangdale C. P. Crop residues management option for sustainable soil health in rise-wheat system: a review // International Journal of Chemical Studies. 2017. № 5(4). Pp. 1038–1042. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318959582_residues_management_option_for_sustainable_soil_health_in_rise-wheat_sustem_a_review.
8. Hirte J. et al. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter // Front Plant Sci. 2017. № 8. Pp. 284. DOI: 10.3389/fpls.2017.00284.
9. Kuzminykh A.N., Novoselov S.I. and Pashkova G.I. Effect of green manuring on the phytosanitary condition of agrocenosis and the yield of winter rye during the development of fand // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 421 (2020). 022017. doi:10.1088/1755-1315/421/2/022017.
10. Philippot L., Raaijmakers J.M., Lemanceau P., Van der Putten W.H. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere // Nat. Rev. Microbiol. 2013. № 11. pp. 789–799. DOI:10.1038/nrmicro3109.

Поступила: 23.12.20; принята к публикации: 2.04.21.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Замятин С.А. – концептуализация исследования, подготовка опыта; Замятин С.А., Максимова Р.Б. – выполнение полевых / лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА НОВЫХ ЛИНИЙ ГОРОХА ПОСЕВНОГО И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИХ АДАПТИВНОСТИ

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;

А.В. Чегунова, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, tchegunovaanastasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1044-9130;

М.В. Скулова, агроном лаборатории селекции и семеноводства зернобобовых культур, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,

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

Цель исследований – изучить и выделить перспективные линии гороха с высокой продуктивностью зерна и определить их параметры адаптивности. Полевые исследования проводили в ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области, в течение 4 лет в конкурсном сортоиспытании (2017–2020 годы). Объектами исследований были 19 линий селекции в ФГБНУ «АНЦ «Донской». Все линии имеют усатый тип листа. Стандартный сорт – Аксайский усатый 5. Достоверное превышение над стандартом было у линий Г-1002 (2,60 т/га), Г-1003 (2,81 т/га), Г-1005 (2,58 т/га), Г-1007 (2,56 т/га), Г-1014 (2,63 т/га) и Б-3790/30-3 (2,54 т/га). Средняя урожайность в конкурсном сортоиспытании за 2017–2020 гг. составила 2,41 т/га. Максимальная разница в урожайности между годами составляет 1,63 т/га, или 89% от средней урожайности в исследованиях. Это свидетельствует о высокой контрастности условий возделывания по годам. Определены параметры адаптивности (стрессоустойчивость, генетическая гибкость, гомеостатичность и селекционная ценность) у линий гороха, превысившие стандарт по урожайности зерна. Наибольшей гомеостатичностью обладали линии Г-1014 (5,31), Г-1007 (6,12) и Б-3790/30-3 (6,47). Урожайность данных линий более выравнена по годам и их предпочтительней возделывать в контрастных условиях (зоны рискованного земледелия, низкий агрофон). Немного им уступили линии Г-1002 (4,19), Г-1005 (4,53). Наименьший уровень гомеостатичности имела линия Г-1003 (3,98). Наибольший показатель селекционной ценности отмечен у линий Г-1014 (1,49), Г-1007 (1,47), Б-3790/30-3 (1,44). Линия Г-1003, показавшая наибольшую продуктивность зерна в наших исследованиях по результатам конкурсного сортоиспытания в 2017-2019 гг., была передана на Государственное сортоиспытание в 2019 году под названием Зерноградский усатый по Северо-Кавказскому (6) региону. По результатам оценки адаптивных свойств, сорт отзывчив на улучшение условий возделывания и рекомендуется для возделывания по интенсивной технологии.

Ключевые слова: горох, урожайность, стрессоустойчивость, гомеостатичность, вариабельность, генетическая гибкость.

Для цитирования: Ашиев А.Р., Хабибуллин К.Н., Чегунова А.В., Скулова М.В. Оценка урожайности зерновых линий гороха посевного и определение параметров их адаптивности // Зерновое хозяйство России. № 4(76). С. 45–49. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-45-49.



ESTIMATION OF PRODUCTIVITY OF THE NEW PEAS LINES AND DETERMINATION OF THEIR ADAPTABILITY PARAMETERS

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;

A.V. Chegunova, junior researcher of the laboratory for legumes breeding and seed production, tchegunovaanastasia@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-1044-9130;

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

Agricultural Research Center "Donskoy",

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

The purpose of the current study was to consider and identify promising peas lines with high grain productivity and determine their adaptability parameters. The field study was carried out at the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy", located in the southern part of the Rostov region during the 4-year competitive variety testing (2017–2020). The objects of the study were 19 breeding lines developed by the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy". All lines were of a leafless type. The standard variety was the variety 'Aksaysky usaty 5'. The lines 'G-1002' (2.60 t/ha), 'G-1003' (2.81 t/ha), 'G-1005' (2.58 t/ha), 'G-1007' (2.56 t/ha), 'G-1014' (2.63 t/ha) and 'B-3790/30-3' (2.54 t/ha) showed a significant excess over the standard variety. The mean productivity in the competitive variety testing of 2017–2020 was 2.41 t/ha. The maximum productivity difference among the years was 1.63 t/ha, or 89% of the mean productivity. This indicates a high contrast of the cultivation conditions over the years. There have been

identified the adaptability parameters of the pea lines (stress resistance, genetic flexibility, homeostaticity and breeding value), which exceeded grain productivity of the standard variety. The lines 'G-1014' (5.31), 'G-1007' (6.12), and 'B-3790/30-3' (6.47) showed the highest homeostaticity. The productivity of these lines was more even over the years and it is preferable to cultivate them in contrasting conditions (zones of risky farming, low agricultural background). The lines 'G-1002' (4.19), 'G-1005' (4.53) were a bit inferior to them. The line 'G-1003' had the lowest level of homeostaticity (3.98). The lines 'G-1014' (1.49), 'G-1007' (1.47), 'B-3790/30-3' (1.44) were characterized with the greatest indicator of breeding value. According to the results of the competitive variety testing in 2017–2019, in 2019 the line 'G-1003' with the highest grain productivity, was sent to the State Variety Testing under the name 'Zernogradsky usaty' in the North Caucasian (6) region. According to the estimation results of the adaptive properties, the variety is responsive to the improvement of cultivation conditions and has been recommended for cultivation in intensive technology.

Keywords: peas, productivity, stress resistance, homeostaticity, variability, genetic flexibility.

Введение. В настоящее время в питании людей и кормлении сельскохозяйственных животных ощущается острый дефицит растительного белка. Данную проблему можно решить с помощью внедрения в производство зернобобовых культур. Горох посевной (*Pisum sativum* L.) является важнейшей зерновой бобовой, овощной и кормовой культурой (Костерин, 2015).

Горох – хороший предшественник для следующих культур. Внедрение его в севооборот способствует улучшению плодородия почв, за счет симбиотической азотфиксации, и сокращению использования минеральных удобрений, что является неоспоримо важным с точки зрения экологии, энергосбережения и экономики (Сидорова, 2015).

Сельскохозяйственное производство невозможно без селекции. (Костерин, 2015). Среди наиболее актуальных проблем селекции является поиск новых источников и доноров хозяйственно-ценных признаков (Лихачева, 2020; Катюк, 2020) для создания сортов, адаптивных к современным технологиям выращивания и условиям произрастания.

Увеличение потенциала урожайности всех без исключения культур всегда было и остается фундаментально важным в селекционных программах. Сорта должны быть не только высокоурожайными, дающими продукцию высокого качества, но и устойчивыми к абиотическим факторам среды и аридности климата, т. е. высокоадаптированными и высокогомеостатичными (Потанин, 2014).

Современные зерновые сорта гороха в сильную засуху и при избыточном увлажнении, поражении болезнями, повреждении вредоносными насекомыми снижают семенную продуктивность на 55–72%, по сравнению с благоприятными условиями. В процессе селекции адаптивные свойства растений гороха к стрессовым факторам среды даже имеют тенденцию к ухудшению, что в ближайшем будущем может стать главной причиной регресса производства данной культуры (Бугайов, 2013). Поэтому сохраняется необходимость в селекционной доработке и в совмещении в сорте высокой семенной продуктивности, качественных показателей и адаптивности к разным изменяющимся погодно-климатическим и почвенным условиям (Донцова и Филиппов, 2014; Пономарева, 2019; Игнатьев и Регидин, 2020).

Цель исследований – изучить и выделить перспективные линии гороха с высокой про-

дуктивностью зерна и определить их параметры адаптивности.

Материалы и методы исследований. Полевые исследования проводили на полях в ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенных в южной зоне Ростовской области в течение 4 лет в конкурсном сортоиспытании (2017–2020 годы).

Предшественник – озимая пшеница. Посев конкурсному сортоиспытанию проводили сеялкой ССФК-7 с нормой высева 1,2 млн всхожих семян на 1 га, с шириной междурядий 15 см. Делянки – семирядковые. Площадь делянки – 15 м². Повторность – шестикратная. Уборку проводили прямым комбайнированием селекционным комбайном «Wintersteiger Classic».

Исследования по конкурсному испытанию новых линий гороха проводили в 2017–2020 гг. в соответствии с Методикой Государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1985) и Методикой полевого опыта (2012). Стандартный сорт – Аксайский усатый 5. В конкурсном сортоиспытании гороха в 2017–2020 гг. проходили исследования 19 линий селекции в ФГБНУ «АНЦ «Донской». Вселинии с усатым типом листа, что значительно повышает их уровень технологичности, снижая потери зерна за счет снижения полеглости растений.

Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа (Доспехов, 2012). Гомеостатичность (H_{om}) урожайности линий гороха определяли по методике Хангильдина В.В. (1984). Показатель гомеостатичности (H_{om}) вычисляли по формуле:

$$H_{om} = x^2 / (\delta \cdot (x_{opt} - x_{lim})),$$

где x – средняя урожайность; x_{opt} – среднее значение урожайности на оптимальном фоне; x_{lim} – среднее значение урожайности на лимитированном фоне; δ – стандартное отклонение.

Основная ценность нового сорта должна определяться величиной гомеостатичности урожайности и качества продукции для конкретного региона. Также определяли следующие параметры: стрессоустойчивость ($x_{lim} - x_{opt}$), генетическую гибкость ($(x_{opt} + x_{lim})/2$), коэффициент вариации (V_c , %), селекционную ценность (S_c), определяемую по формуле:

$$S_c = x \cdot (x_{lim} / x_{opt}).$$

Почвенный покров представлен обыкновенным черноземом (предкавказским карбонатным).

Метеорологические условия в годы исследований отличались нестабильностью в период вегетации, что позволило объективно оценить образцы на гомеостатичность.

Погодно-климатические условия 2017 года оказались благоприятными для вегетации гороха. Гидротермический режим апреля характеризовался избыточным увлажнением (ГТК = 2,68), май и июнь – достаточным увлажнением (ГТК = 1,41 и 1,42 соответственно).

В 2018 году погодно-климатические условия для вегетации гороха складывались крайне неблагоприятно, характеризуют как острозасушливые. Вследствие сложившихся неблагоприятных погодных условий марта (низкие температуры и осадки) посев гороха был проведен в первую декаду апреля. Апрель характеризовался малым количеством осадков (9 мм), что значительно ниже среднегодового показателя (42,7 мм). Это привело к замедлению роста и развития гороха. Температура воздуха в мае и выпавшие осадки сформировали засушливый гидротермический режим (ГТК = 0,21). Июнь характеризовался как острозасушливый (ГТК = 0,06).

Условия для посева гороха в 2019 году были вполне благоприятными, так как почва была увлажненная, осадки выпали с превышением среднегодовой нормы. Погодные

условия апреля и мая положительно повлияли на интенсивность роста и развития растений гороха (ГТК = 0,80 и 1,08 соответственно). Однако острозасушливые условия июня (ГТК = 0,14) с максимальной температурой воздуха до 37,9 °С, а на поверхности почвы до 65 °С привели к ускоренному прохождению фазы «цветение-созревание».

В 2020 году теплый и сухой март позволил провести посев во второй декаде. Апрель был прохладным с недобором осадков (ГТК = 0,67), а в мае сформировалась влажная и прохладная погода (ГТК = 1,67).

Налив и созревание семян гороха в июне проходили в условиях дефицита осадков (54% от среднегодовых) и средней температуры воздуха 23,1 °С (ГТК = 0,56), что привело к снижению массы 1000 семян и как следствие – потерю урожайности.

Результаты и их обсуждение. Средняя урожайность в конкурсном сортоиспытании за 2017–2020 гг. составила 2,41 т/га. Анализ средней урожайности линий по годам показывает, что наибольшая урожайность (3,46 т/га) получена в 2017 г., который отличался благоприятными условиями для вегетации гороха, а наименьшая (1,83 т/га) – в 2019 г. который характеризовался как острозасушливый (табл. 1).

1. Урожайность линий гороха в конкурсном сортоиспытании, т/га (2017–2020 гг.)

1. Productivity of peas lines in the competitive variety testing, t/ha (2017–2020)

Сорт, линия	Годы					Отклонение от стандарта
	2017	2018	2019	2020	Среднее	
Аксайский усатый 5, стандарт	3,40	2,10	1,80	2,03	2,33	–
Г-1002	3,87	2,31	2,00	2,20	2,60	0,27
Г-1003	4,17	2,59	2,06	2,40	2,81	0,48
Г-1005	3,80	2,31	2,02	2,18	2,58	0,25
Г-1006	3,00	2,07	1,48	1,90	2,11	-0,22
Г-1007	3,60	2,35	2,07	2,23	2,56	0,23
Г-1008	3,44	2,06	1,73	1,90	2,28	-0,05
Г-1009	3,45	2,15	1,80	2,12	2,38	0,05
Г-1014	3,80	2,33	2,15	2,22	2,63	0,30
Б-3184/10	3,01	2,06	1,73	1,98	2,20	-0,13
Б-3626/20	3,95	2,28	1,67	2,16	2,52	0,19
Б-3645/2	2,90	2,35	1,78	2,10	2,28	-0,05
Б-3664/22	3,50	2,23	1,80	2,06	2,28	-0,05
Б-3726/7	2,70	2,17	1,42	1,78	2,02	-0,31
Б-3729/29	2,90	2,20	1,79	1,99	2,22	-0,11
Б-3733/9-1	3,53	2,18	2,00	2,13	2,46	0,13
Б-3790/15	4,00	2,19	1,74	1,97	2,48	0,15
Б-3790/30-3	3,48	2,48	1,98	2,20	2,54	0,21
Б-3826/27	3,67	2,50	1,72	2,15	2,51	0,18
Б-3826/32	3,04	2,28	1,79	2,00	2,28	-0,05
среднее	3,46	2,26	1,83	2,09	2,41	–
НСР ₀₅ , т/га	0,31	0,19	0,17	0,18	0,20	–

Разница в урожайности между этими годами составляет 1,63 т/га, или 89% от средней урожайности в исследованиях. Это свидетельствует о высокой контрастности условий возделывания по годам. Поэтому создание адаптивных сортов гороха с высоким уровнем

урожайности для контрастных условий возделывания является более чем актуальным.

Средняя урожайность зерна стандартного сорта Аксайский усатый 5 составила 2,33 т/га. Достоверное превышение над стандартом было у линий Г-1003 (2,81 т/га), Г-1014

(2,63 т/га), Г-1002 (2,60 т/га), Г-1005 (2,58 т/га), Г-1007 (2,56 т/га) и Б-3790/30-3 (2,54 т/га).

У линий гороха, превысивших стандарт по урожайности зерна, были определены па-

раметры адаптивности: стрессоустойчивость, генетическая гибкость, гомеостатичность и селекционная ценность (табл. 2).

2. Параметры адаптивности линий гороха 2. Adaptability parameters of the peas lines

Сорт, линия	Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	Коэффициент вариации	Гомеостатичность	Селекционная ценность
Аксацкий усатый 5, стандарт	-1,60	2,60	31,0	4,70	1,23
Г-1002	-1,87	2,93	33,1	4,19	1,34
Г-1003	-2,11	3,12	33,4	3,98	1,39
Г-1005	-1,78	2,91	32,0	4,53	1,37
Г-1007	-1,53	2,83	27,4	6,12	1,47
Г-1014	-1,65	2,98	30,0	5,31	1,49
Б-3790/30-3	-1,50	2,73	26,1	6,47	1,44

Стрессоустойчивость показывает разницу урожайности, полученной в неблагоприятных и благоприятных условиях. Чем меньше она, тем выше устойчивость к стрессу. Высокая стрессоустойчивость наблюдалась у исследуемых линий Б-3790/30-3 (-1,50), Г-1007 (-1,53). Средняя стрессоустойчивость была у линий Г-1014 (-1,65), Г-1005 (-1,78), Г-1002 (-1,87), 1,60 (Аксацкий усатый 5).

Показатель генетической гибкости является средним значением между минимальной и максимальной урожайностью. Высокую генетическую гибкость имели линии Г-1003 (3,12), Г-1014 (2,98), Г-1002 (2,93), Г-1005 (2,91).

Коэффициент вариации в исследованиях был от 26,1% (Б-3790/30-3) до 33,4% (Г-1003). У линии Г-1003 большое варьирование связано с высокой урожайностью в исследованиях и наибольшим разрывом между минимальной и максимальной урожайностью в сравнении с другими линиями.

Наибольшей гомеостатичностью обладали линии Г-1014 (5,31), Г-1007 (6,12) и Б-3790/30-3 (6,47). Уступили им линии Г-1002 (4,19), Г-1005 (4,53). Наименьший уровень гомеостатичности имела линия Г-1003 (3,98).

Наибольший показатель селекционной ценности отмечен у линий Г-1014 (1,49), Г-1007 (1,47), Б-3790/30-3 (1,44). Немного им уступили линии Г-1003 (1,39), Г-1005 (1,37) и Г-1002 (1,34).

Линия Г-1003, показавшая наибольшую продуктивность зерна в наших исследованиях, по результатам конкурсно-

го сортоиспытания в 2017–2019 гг., была передана на Государственное сортоиспытание в 2019 году под названием Зерноградский усатый по Северо-Кавказскому (6) региону. По результатам оценки адаптивных свойств, сорт отзывчив на улучшение условий возделывания и рекомендуется для возделывания по интенсивной технологии.

Выводы. Наибольшей гомеостатичностью обладали линии Г-1014 (5,31), Г-1007 (6,12) и Б-3790/30-3 (6,47). Урожайность данных линий более выравнена по годам и их предпочтительней возделывать в контрастных условиях (зоны рискованного земледелия, низкий агрофон). Немного им уступили линии Г-1002 (4,19), Г-1005 (4,53). Наименьший уровень гомеостатичности имела линия Г-1003 (3,98). Линии Г-1014 (1,49), Г-1007 (1,47), Б-3790/30-3 (1,44) отмечены наибольшим показателем селекционной ценности.

По результатам конкурсного сортоиспытания в 2017–2019 гг. наибольшую продуктивность зерна в наших исследованиях показала линия Г-1003 и была передана на Государственное сортоиспытание в 2019 году под названием Зерноградский усатый по Северо-Кавказскому (6) региону. Сорт отзывчив на улучшение условий возделывания и рекомендуется для возделывания по интенсивной технологии.

Выделившиеся линии будут изучены дополнительно и использованы в селекционной работе в качестве исходного материала.

Биографические ссылки

1. Бугайов В.Д., Кондратенко Н.И., Демидюк М.В. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов гороха посевного в условиях правобережной лесостепи Украины // Зернобобовые и крупяные культуры. 2013. № 2(6). С. 100–106.
2. Донцова А.А., Филиппов Е.Г. Создание новых сортов ячменя, адаптированных к усилению аридности климата // Зерновое хозяйство России. 2014. № 6(36). С. 43–49.
3. Игнатьев С.А., Регидин А.А. Оценка продуктивности и качества корма популяций люцерны в конкурсном сортоиспытании // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-17-22.
4. Катюк А.И. Формирование семенной продуктивности у коллекции гороха разных морфотипов в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(71). С. 32–36.
5. Костерин О.Э. Перспективы использования диких сороричей в селекции гороха (*Pisum sativum* L.) // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. № 19(2). С. 154–164. DOI 10.18699/VJ15.019.

6. Лихачева Л.И., Москалев А.В. Урожайность и экологическая адаптивность сортообразцов гороха посевного на Среднем Урале // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 5. С. 51–55.
7. Пономарева С.В. Экологическая пластичность и стабильность по урожайности семян и зелёной массы гороха полевого в условиях Волго-Вятского региона // Зернобобовые и крупяные культуры. 2019. № 2(30). С. 43–48. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11087.
8. Потанин В.Г., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И. Новый подход к оценке экологической пластичности сортов растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 548–552.
9. Сидорова К.К., Глянченко М.Н., Мищенко Т.М., Власова Е.Ю., Шумный В.К. Симбиотическая фиксация атмосферного азота у бобовых растений как генетико-селекционный признак // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015. № 19(1). С. 50–57. DOI 10.18699/VJ15.005.
10. Хангильдин В.В., Бирюков С.В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях // Генетико-цитологические аспекты в селекции с.-х. растений. 1984. № 1. С. 67–76.

References

1. Bugajov V.D., Kondratenko N.I., Demidyuk M.V. Ocenka ekologicheskoy plastichnosti i stabil'nosti sortov goroha posevnogo v usloviyah pravoberezhnoy lesostepi Ukrainy [Estimation of ecological adaptability and stability of pea varieties in the conditions of the right-bank forest-steppe of Ukraine] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2013. № 2(6). S. 100–106.
2. Doncova A.A., Filippov E.G. Sozdanie novykh sortov yachmenya, adaptirovannykh k usileniyu aridnosti klimata [Development of new barley varieties, adapted to the increasing climate aridity] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2014. № 6(36). S. 43–49.
3. Ignat'ev S.A., Regidin A.A. Ocenka produktivnosti i kachestva korma populyacij lyucerny v konkursnom sortoispytanii [Estimation of alfalfa productivity and feed quality in the competitive variety testing] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 1(67). S. 17–22. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-17-22.
4. Katyuk A.I. Formirovanie semennoj produktivnosti u kollektsii goroha raznykh morfotipov v usloviyah Srednego Povolzh'ya [Formation of seed productivity of peas of different morphotypes in the conditions of the Middle Volga region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2020. № 5(71). S. 32–36.
5. Kosterin O.E. Perspektivy ispol'zovaniya dikh sorodichey v selektsii goroha (*Pisum sativum* L.) [Prospects for the use of wild relatives in peas breeding (*Pisum sativum* L.)] // Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2015. № 19(2). S. 154–164. DOI 10.18699/VJ15.019.
6. Lihacheva L.I., Moskaev A.V. Urozhajnost' i ekologicheskaya adaptivnost' sortoobraztsov goroha posevnogo na Srednem Urale [Productivity and ecological adaptability of peas varieties in the Middle Urals] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34. № 5. S. 51–55.
7. Ponomareva S.V. Ekologicheskaya plastichnost' i stabil'nost' po urozhajnosti semyan i zelyonoy massy goroha polevogo v usloviyah Volgo-Vyatskogo regiona [Ecological adaptability and stability according to productivity of seeds and green mass of field peas in the conditions of the Volga-Vyatka region] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2019. № 2(30). S. 43–48. DOI: 10.24411/2309-348X-2019-11087.
8. Potanin V.G., Alejnikov A.F., Styopochkin P.I. Novyj podhod k ocenke ekologicheskoy plastichnosti sortov rastenij [A new approach to estimation of the ecological adaptability of plant varieties] // Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2014. T. 18. № 3. S. 548–552.
9. Sidorova K.K., Glyanenko M.N., Mishchenko T.M., Vlasova E.YU., SHumnyy V.K. Simbioticheskaya fiksatsiya atmosfornogo azota u bobovykh rastenij kak genetiko-selektsionnyy priznak [Symbiotic fixation of atmospheric nitrogen in legumes as a genetic and breeding trait] // Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2015. № 19(1). S. 50–57. DOI 10.18699/VJ15.005.
10. Hangil'din V.V., Biryukov S.V. Problema gomeostaza v genetiko-selektsionnykh issledovaniyakh [The problem of homeostasis in genetic and breeding study] // Genetiko-citologicheskie aspekty v selektsii s.-h. rastenij. 1984. № 1. S. 67–76.

Поступила: 20.04.21; принята к публикации: 25.06.21.

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНА СЕВООБОРОТА С ЛЮПИНОМ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Е.И. Исаева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник направления земледелия, lupin.zemledelie@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9352-5329;
Г.Л. Яговенко, доктор сельскохозяйственных наук, директор ВНИИ люпина, lupin_mail@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3205-230X
ВНИИ люпина – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»,
241524, Брянская обл., Брянский район, пос. Мичуринский, ул. Березовая, 2

Рассмотрены результаты исследований по изучению продуктивности звена севооборота «люпин-озимая пшеница» при разных способах основной обработки почвы. Исследования проводили на серой лесной почве юго-запада Нечерноземной зоны Брянской области стационарного опыта ВНИИ люпина в 2015–2018 гг. Цель исследования – охарактеризовать продуктивность звена севооборота «люпин-озимая пшеница» при разных способах основной обработки почвы. Схема опыта включала четыре варианта основной обработки почвы при возделывании озимой пшеницы и люпина в системе четырехпольного севооборота: озимая пшеница-овес голозерный-озимая тритикале-люпин. В условиях исследуемого периода наибольшая продуктивность звена севооборота «люпин-озимая пшеница» отмечена в варианте отвальной вспашка с добавлением глубокого рыхления один раз в четыре года под люпин и составила 5,2 т/га зерновых единиц. При данном приеме обработки почвы озимая пшеница и люпин демонстрировали высокие показатели по урожайности и питательности. Данные показатели оказались энергетически выгодными с точки зрения потока энергии в агроэкосистеме. Наименьшую продуктивность звена обеспечил вариант с безотвальной обработкой почвы на глубину 16 см – 3,9 т/га зерновых единиц; энергетическая себестоимость тонны зерна составила 6,7 ГДж. При варианте с традиционной отвальной вспашкой была получена продуктивность звена севооборота 4,5 т/га зерновых единиц; в этом случае энергетическая себестоимость составила 5,9 ГДж за тонну зерна. Все представленные варианты основной обработки почвы в данном севообороте могут применяться в хозяйствах с разным уровнем экономического развития и культурой земледелия.

Ключевые слова: полевой севооборот, приемы обработки почвы, озимая пшеница, люпин, урожайность, переваримый протеин, энергетическая себестоимость.

Для цитирования: Исаева Е.И., Яговенко Г.Л. Продуктивность звена севооборота с люпином при разных способах основной обработки почвы // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 50–53. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-50-53.



PRODUCTIVITY OF THE CROP ROTATION LINK WITH LUPINE WITH DIFFERENT METHODS OF BASIC TILLAGE

E.I. Isaeva, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of agriculture, lupin.zemledelie@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9352-5329;
G.L. Yagovenko, Doctor of Agricultural Sciences, head of the ARRI of lupine, ORCID ID: 0000-0003-3205-230X
ARRI of lupine, a branch FRC "FRCFPAE named after V.R. Viliyams",
241524, Bryansk region, Bryansk district, v. of Michurinsky, Berezovaya Str., 2; e-mail: lupin_mail@mail.ru

The current paper has considered the study results of the productivity of the lupine-winter wheat rotation link with different methods of basic tillage. The study was carried out on grey forest soil in the south-west of the Blackearth part of the Bryansk region on the basis of the stationary trial of the All-Russian Research Institute of Lupine in 2015–2018. The purpose of the study was to characterize the productivity of the lupine – winter wheat crop rotation link with different methods of basic tillage. The scheme of the trial included four variants of the main tillage during the cultivation of winter wheat and lupine in a four crop rotation sequences, namely winter wheat – naked oats – winter triticale – lupine. During the period of the study, the highest productivity of the lupine-winter wheat rotation link was identified in the case of moldboard plowing with chisel tillage once every four years for lupine and amounted to 5.2 t/ha of grain units. With this method of tillage, winter wheat and lupine showed high rates of yield and nutritional value. These indicators turned out to be energetically beneficial in terms of energy flow in the agroecosystem. The lowest rates of yield of the link was obtained in the option with subsurface plowing to a depth of 16 cm and amounted to 3.9 t/ha of grain units; the energy cost per ton of grain was 6.7 GJ. With the option with traditional moldboard plowing, the productivity of the crop rotation link was 4.5 t/ha of grain units, and the energy cost was 5.9 GJ per ton of grain. All the presented options of the main tillage in this crop rotation can be used on farms with different levels of economic development and farming culture.

Keywords: field crop rotation, tillage methods, winter wheat, lupine, productivity/yield, digestible protein, energy cost.

Введение. Обработка почвы – главное и основное средство ее окультуривания и повышения плодородия. При правильном сочетании и качественном проведении приемов обработки почвы удастся не только повы-

сить эффективное плодородие, но и создать для растений наиболее благоприятные условия по его использованию. По вопросам применения способов обработки почвы нет единого мнения. В последнее время многие ученые

пришли к выводу, что только применение приемов и способов обработки почвы с учетом местных почвенно-климатических условий обеспечит создание наиболее благоприятных агрофизических, биологических и агрохимических свойств для возделывания сельскохозяйственных культур. Однако до сих пор встречаются противоречивые данные по влиянию различных приемов основной обработки почвы на водный режим, плотность, агрегатный состав почвы, засоренность посевов и, в конечном итоге, на урожайность. В последние годы ведутся поиски замены традиционных технологий обработки новыми. Одним из направлений совершенствования обработки почвы является ее минимизация (Трофимова и др., 2018; Суховеева и Карелин, 2019).

В нашей стране широко применяется глубокая и мелкая обработка, отвальная вспашка и безотвальное рыхление, рациональное сочетание и чередование различных приемов обработки, все большее распространение находят комбинированные агрегаты (Каргин и др., 2007; Исаева, 2019).

Многими исследователями было доказано, что безотвальная обработка способствует сохранению структуры почвы при возделывании однолетних культур. Применение чизельных орудий, безотвальных плугов-рыхлителей позволяет увеличить глубину рыхления до 35 см и более. Способы углубления зависят от биологических особенностей культуры, типа почвы, ее уплотнения и нормы полива. На тяжелых черноземных почвах глубокую обработку в севообороте проводят через 2–3 года, на легких песчаных почвах периодичность глубоких обработок увеличивают до 4–5 лет (Кудрин, 2007; Пестряков, 2007; Лобков и др., 2013; Шимшек и др., 2019).

Из зерновых культур наибольшей способностью к образованию почвенной структуры обладают озимые хлеба, в частности озимая пшеница, которые имеют продолжительный период вегетации, развитую корневую систему и хорошо прикрывают почву от разрушающего действия атмосферных осадков и талых вод. Тем не менее, озимая пшеница очень требовательна к предшественнику в севообороте. Наилучшими предшественниками являются зернобобовые культуры, в частности люпин – культура, обладающая огромным средообразующим потенциалом (Исаева и Артюхов, 2016; Исаева и Артюхов, 2015; Yakovenko et al., 2021).

Основную обработку почвы следует применять дифференцированно, с учетом как местных условий, так и уровня экономического развития и культуры земледелия сельскохозяйственных предприятий. Это требует уточнения глубины и способов обработки почвы в севообороте с различным уровнем материально-финансовых затрат.

В связи с этим целью наших исследований являлось охарактеризовать продуктивность звена севооборота «люпин-озимая пшени-

ца» при разных способах основной обработки почвы.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в многолетнем стационарном опыте ВНИИ люпина на серой лесной легкосуглинистой почве юго-запада Нечерноземной зоны в 2015–2018 годах.

Звено севооборота: люпин – озимая пшеница.

Приемы основной обработки почвы в звене севооборота:

1. Отвальная вспашка на 20–22 см отвальным плугом ПЛН – 5–35.

2. Безотвальное глубокое рыхление 1 раз в 4 года под люпин на 35 см чизельным плугом Dondi-807, отвальная вспашка на 20–22 см – под озимую пшеницу отвальным плугом ПЛН – 5–35.

3. Безотвальная обработка – рыхление на 16 см, стерневым культиватором Лидер-8.

4. Безотвальное глубокое рыхление 1 раз в 4 года под люпин на 35 см., чизельным плугом Dondi-807, безотвальная обработка – рыхление на 16 см под озимую пшеницу стерневым культиватором Лидер-8.

Предпосевная обработка почвы проводится по всем культурам и вариантам и включает: 1-я культивация КШУ 12 01 (8–12 см), 2-я культивация КШУ 12 01 (6–8 см), прикатывание и выравнивание почвы АКШ 7,2. Система удобрений по всем вариантам представлена: озимая пшеница – $N_{90}P_{60}K_{60}$, люпин белый – без удобрений. Система защиты – согласно списку разрешенных препаратов на территории Российской Федерации.

Опыт заложен в границах одного земельного участка, развернут четырьмя полями в пространстве и во времени. Площадь делянки – 960 м². Повторность в опыте – трехкратная.

В севообороте возделывали белый люпин Дега, овес голозерный Першерон, озимую пшеницу Московская 39, озимую тритикале Трибун.

Результаты и их обсуждение. Основой любых технологий адаптивного земледелия является принцип наибольшего удовлетворения биологических требований культур путем создания оптимальных условий их произрастания. В принципе уровень реализации продуктивного потенциала определяется тем, насколько применяемая технология возделывания позволяет растениям реализовать свои биологические возможности. Звено севооборота «люпин-озимая пшеница» является типичным и общепринятым чередованием культур для большинства сельскохозяйственных структур.

Наиболее урожайной культурой представленного звена севооборота была озимая пшеница Московская 39. Максимальная урожайность зерна 6,8 т/га была получена в варианте «отвальная вспашка + безотвальное глубокое рыхление под люпин», что достоверно превышало урожайность, полученную при традиционной отвальной вспашке с оборотом пласта, на 1 т/га и на 1,8 т/га в варианте с безотваль-

ной обработкой. Наименьшую урожайность зерна 5,0 т/га обеспечил вариант безотвальной обработки почвы. Тем не менее, при добавлении к данному способу обработки чизелевания на 35 сантиметров в севообороте, продуктивность гектара возрастала на 0,7 тонны. Выход переваримого протеина в варианте с отвальной вспашкой с добавлением чизелевания был на 90,2 кг выше, чем в варианте с отвальной вспашкой.

По урожайности люпина белого выделился вариант с глубоким рыхлением в четырехпольном севообороте один раз в 4 года под люпин. Он обеспечил урожайность 4,1 т/га с достоверной прибавкой 0,5 тонны по сравнению с отвальной вспашкой и 0,9 тонны по сравне-

нию с безотвальной рыхлением (см. таблицу). Можно отметить, что культура отзывалась на применение агроприема чизелевание увеличением продуктивности.

В зернофуражных фондах, создаваемых из злаковых и других культур с недостаточным уровнем содержания переваримого протеина в большинстве зон и районов нашей страны, довольно значительный белковый дефицит. И если по сбору зерна с 1 гектара пашни люпин занимает одно из последних мест среди основных культур зерновых хозяйств, то по выходу переваримого протеина он превосходит в 2–2,5 раза другие культуры, стабилизируя всю севооборотную площадь по данному показателю.

Продуктивность, кормовая ценность и энергетическая эффективность звена севооборота при разных способах основной обработки почвы (2015–2018 гг.)
Productivity, forage value and energy efficiency of the crop rotation link with different methods of basic tillage (2015–2018)

Варианты	Люпин		Озимая пшеница		Продуктивность звена севооборота, т/га зерновых единиц	Энергетическая себестоимость тонны зерна, ГДж
	урожайность, т/га	выход ПП*, кг/га	урожайность, т/га	выход ПП*, кг/га		
Отвальная вспашка	3,6	1085,4	5,8	444,3	4,5	5,9
Отвальная вспашка + чизелевание под люпин на 35 см	4,1	1230,0	6,8	534,5	5,2	5,1
Безотвальная обработка	3,2	944,0	5,0	347,1	3,9	6,7
Безотвальная обработка + чизелевание под люпин на 35 см	3,4	1009,8	5,7	407,6	4,3	6,9
НСР ₀₅	0,2	—	0,4	—	0,3	—

* ПП – переваримый протеин.

Имея такой зернофураж, можно выходить на очень высокий и стабильный уровень продуктивности в животноводстве, а люпин можно рассматривать не только как важный компонент агроценозов, но и как важный компонент пищевых цепей агроэкосистем.

По выходу переваримого протеина люпина белого выделился вариант «отвальная вспашка с добавлением чизелевания». Здесь было получено переваримого протеина 1230 кг/га. Наибольшая продуктивность звена севооборота 5,2 т/га зерновых единиц, с самой низкой энергетической себестоимостью тонны 5,1 ГДж была обеспечена в варианте «вспашка с добавлением чизелевания под люпин белый».

Выводы. По результатам исследований 2015–2018 гг. установлена наибольшая продук-

тивность звена «люпин-озимая пшеница», четырехпольного севооборота «озимая пшеница – овес голозерный – озимая тритикале – люпин», в варианте основной обработки почвы «вспашка с добавлением чизелевания на 35 см один раз в четыре года под люпин». При данном приеме обработки почвы производится тонна зерна с самой низкой энергоемкостью и высокой продуктивной питательностью. Но поскольку современное сельское хозяйство отличается многоукладностью и разноплановостью, остальные варианты основной обработки почвы в звене севооборота «люпин-озимая пшеница» так же имеют место и могут применяться в хозяйствах, обеспечивая довольно высокие показатели продуктивности.

Библиографические ссылки

- Исаева Е.И., Артюхов А.И. Реализация продуктивного потенциала люпина узколистного и сои в разноротационных севооборотах при разных технологиях возделывания // Зерновое хозяйство России. 2015. № 2(38). С. 93–100.
- Исаева Е.И., Артюхов А.И. Люпин узколистный и соя как предшественники ячменя в севообороте // Земледелие. 2016. № 1. С. 8–10.
- Исаева Е.И. Основная обработка почвы в севообороте с люпином для условий Брянской области // Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 3. С. 12–18. DOI10.33814/AFP-2222-5366-2019-3-12-18.
- Каргин В.И., Мандров Н.П., Петров Н.А. Система основной обработки выщелоченного чернозема // Достижения науки и техники АПК. 2007. № 4. С. 44–45.

5. Кудрин В.Ф. Воспроизводство плодородия и минимализация обработки почвы в Нечерноземной зоне // Земледелие. 2007. № 2. С. 21–22.
6. Лобков В.Т., Новиков А.С., Забродкин А.А. Плодородие темно-серой лесной почвы при применении различных способов обработки почвы // Зерновое хозяйство России. 2013. № 2(26). С. 27–31.
7. Пестряков А.М. На принципах разноглубинности и многовариантности // Земледелие. 2007. № 2. С. 19–21.
8. Суховеева О.Э., Карелин Д.В. Параметризация модели DNDC для оценки компонентов биогеохимического цикла углерода на Европейской территории России // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2019. Том 64 № 2. С. 363–384. DOI: 10.21638/spbu07.2019.211.
9. Трофимова Т.А., Коржов С.И., Гулевский В.А., Образцов В.Н. Оценка степени физической деградации и пригодности черноземов к минимизации основной обработки почвы // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1125–1131. DOI: 10.1134/S0032180X18090125.
10. Шимшек У., Шейн Е.В., Микаилсой Ф., Болотов А.Г., Эрдель Э. Подпочвенное уплотнение: интенсивность проявления в тяжелосуглинистых аллювиальных карбонатных почвах района Ыгдыр (Восточная Турция) // Почвоведение. 2019. № 3. С. 330–334. DOI: 10.1134/S0032180X19030109.
11. Yakovenko G.L., Lukashevich M.I., Ageeva P.A., Novik N.V. and Zakharova M.V. Status and prospects of breeding of cultivated species of Lupin in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 663. p. 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.

References

1. Isaeva E.I., Artyuhov A.I. Realizatsiya produktivnogo potentsiala lyupina uzkolistnogo i soi v raznorotatsionnykh sevooborotakh pri raznykh tekhnologiyakh vozdeystviya [Realization of the productive potential of blue lupine and soybeans in different crop rotation sequences with different cultivation technologies] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2015. № 2(38). S. 93–100.
2. Isaeva E.I., Artyuhov A.I. Lyupin uzkolistnyy i soya kak predshestvenniki yachmenya v sevooborote [Blue lupine and soybeans as barley forecrops in crop rotation] // Zemledelie. 2016. № 1. S. 8–10.
3. Isaeva E.I. Osnovnaya obrabotka pochvy v sevooborote s lyupinom dlya uslovij Bryanskoj oblasti [The basic tillage in the crop rotation with lupine in the Bryansk region] // Adaptivnoe kormoproizvodstvo. 2019. № 3. S. 12–18. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-3-12-18.
4. Kargin V.I., Mandrov N.P., Petrov N.A. Sistema osnovnoj obrabotki vyshchelochennogo chernozema [System of the basic tillage of leached blackearth] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2007. № 4. S. 44–45.
5. Kudrin V.F. Vosproizvodstvo plodorodiya i minimalizatsiya obrabotki pochvy v Nechernozemnoj zone [Reproduction of fertility and minimization of soil cultivation in the Non-Blackearth zone] // Zemledelie. 2007. № 2. S. 21–22.
6. Lobkov V.T., Novikov A.S., Zabrodin A.A. Plodorodie temno-seroj lesnoj pochvy pri primenении razlichnykh sposobov obrabotki pochvy [Fertility of dark gray forest soil when using various tillage methods] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2013. № 2(26). S. 27–31.
7. Pestryakov A.M. Na principakh raznoglubinnosti i mnogovariantnosti [On the principles of depth and multivariance] // Zemledelie. 2007. № 2. S. 19–21.
8. Suhoveeva O.E., Karelin D.V. Parametrizatsiya modeli DNDC dlya ocenki komponentov biogeohimicheskogo tsikla ugleroda na Evropejskoj territorii Rossii [Parametrization of the DNDC model for assessing the components of the biogeochemical carbon cycle in the European territory of Russia] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle. 2019. Tom 64 № 2. S. 363–384. DOI: 10.21638/spbu07.2019.211.
9. Trofimova T.A., Korzhov S.I., Gulevskij V.A., Obrazcov V.N. Ocenka stepeni fizicheskoy degradatsii i prigodnosti chernozemov k minimizatsii osnovnoj obrabotki pochvy [Estimation of the degree of physical degradation and blackearth suitability to the basic tillage minimization] // Pochvovedenie. 2018. № 9. S. 1125–1131. DOI: 10.1134/S0032180X18090125.
10. SHimshek U., SHein E.V., Mikailsoj F., Bolotov A.G., Erdel' E. Podpochvennoe uplotnenie: intensivnost' proyavleniya v tyazhelosuglinistykh allyuvial'nykh karbonatnykh pochvah rajona Ygdir (Vostochnaya Turkiya) [Subsoil compaction: its intensity in heavy loamy alluvial calcareous soils of the Ygdir region (Eastern Turkey)] // Pochvovedenie. 2019. № 3. S. 330–334. DOI: 10.1134/S0032180X19030109.
11. Yakovenko G.L., Lukashevich M.I., Ageeva P.A., Novik N.V. and Zakharova M.V. Status and prospects of breeding of cultivated species of Lupin in Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 663. p. 012014. DOI: 10.1088/1755-1315/663/1/012014.

Поступила: 29.03.21; принята к публикации: 12.05.21.

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. Яковенко Г.Л., Исаева Е.И. – концептуализация исследования; Исаева Е.И. – подготовка опыта, выполнение полевых и лабораторных опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ПЛОДОСМЕННОМ СЕВООБОРОТЕ ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Л.В. Юшкевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, зав. лабораторией ресурсосберегающих технологий, yushkevitchLV@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-6203-1078;
И.В. Пахотина, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией качества зерна, pakhotina@anc55.ru, ORCID ID: 0000-0002-9709-1951;
А.Г. Щитов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ресурсосберегающих технологий, alshield@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2496-5830
ФГБНУ «Омский аграрный научный центр»,
644012, г. Омск, пр-т Королева, 26; e-mail: 55asc@bk.ru

Мягкая яровая пшеница возделывается в Омской области, в основном, в зернопаровых севооборотах, повторных и бессменных посевах, реже плодосменных и занимает до 73% зернового клина Западной Сибири. В регионе увеличиваются посевы сои, но при этом недостаточно изучены особенности технологии возделывания яровой пшеницы после этого предшественника. Цель исследования – установить результативность агротехнологий возделывания яровой пшеницы в плодосменном севообороте после соевого предшественника в южной лесостепи Западной Сибири. Исследования проведены в стационарном севообороте с чередованием культур (соя – яровая пшеница – лен масличный – ячмень) в лаборатории ресурсосберегающих агротехнологий Омского АНЦ на лугово-черноземной почве в 2011–2019 гг. Установлено, что система обработки почвы и средства интенсификации оказывали влияние на элементы плодородия и фитосанитарное состояние агрофитоценоза яровой пшеницы после соевого предшественника. При плоскорезной обработке в сравнении с отвальной отмечено нарастание биомассы и численности сорняков на 21 и 43% соответственно. Применение средств химизации способствовало существенному повышению биомассы яровой пшеницы – в 1,8 раза и снижению численности сорных растений – в 3,3 раза, что оказало заметное влияние на продуктивность культуры. Урожайность пшеницы после сои снижалась при сокращении интенсивности обработки почвы от отвальной до плоскорезной в среднем на 16%. Интенсивная технология возделывания яровой пшеницы повышала урожайность культуры до 3,32 т/га, содержание белка и клейковины в зерне – на 16–18%. Из средств химизации максимальную прибавку урожайности зерна обеспечило применение фунгицидов – на 28,2% от контроля (1,46 т/га).

Ключевые слова: плодосменный севооборот, яровая пшеница, система обработки почвы, средства химизации, урожайность, качество зерна.

Для цитирования: Юшкевич Л.В., Пахотина И.В., Щитов А.Г. Продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в плодосменном севообороте лесостепи Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 54–60 DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-54-60.



SPRING WHEAT PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY IN THE CROP ROTATION OF THE FOREST-STEPPE OF WESTERN SIBERIA

L.V. Yushkevich, Doctor of Agricultural Sciences, main researcher, head of the laboratory for resource saving technologies, yushkevitchLV@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-6203-1078;
I.V. Pakhotina, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher, head of the laboratory for grain quality, pakhotina@anc55.ru, ORCID ID: 0000-0002-9709-1951;
A.G. Shchitov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for resource saving technologies, alshield@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2496-5830
Omsk Agricultural Research Center,
644012, Omsk, Korolev Av, 26; e-mail: 55asc@bk.ru

Spring bread wheat is cultivated in the Omsk region, mainly in grain-fallow crop rotations, repeated and permanent crops, less in crop-changing rotations and occupies up to 73% of the grain share of Western Siberia. Soybean crops are growing in the region, but at the same time, there have not been sufficiently studied the peculiarities of the cultivation technology of spring wheat sown after this forecrop. The purpose of the current study was to establish the efficiency of agricultural cultivation technologies of spring wheat in the crop rotation sown after soybean in the southern forest-steppe of Western Siberia. The study was carried out in a stationary crop rotation with alternating crops (soybeans – spring wheat – oil flax – barley) in the laboratory for resource-saving agricultural technologies of the Omsk Research Center on meadow-blackearth soil in 2011–2019. There has been established that the soil cultivation system and the means of intensification influenced the elements of fertility and the phytosanitary state of the agrophytocenosis of spring wheat sown after soybean. With subsurface plowing, in comparison with moldboard plowing, there was an increase in biomass and number of weeds on 21 and 43%, respectively. The use of chemicals resulted in a significant increase in spring wheat biomass (on 1.8 times) and a decrease in number of weeds (on 3.3 times), which had a noticeable effect on the productivity. Productivity of wheat sown after soybeans decreased with a decrease in tillage intensity from moldboard plowing to subsurface plowing on 16%. The intensive cultivation technology of spring wheat increased its productivity up to 3.32 t / ha, the protein and gluten content in grain on 16–18%. As for chemicals, the maximum grain number increase on 28.2% was provided by the use of fungicides compared to the control (1.46 t/ha).

Keywords: crop rotation, spring wheat, tillage system, chemicals, productivity, grain quality.

Введение. Зерновые культуры в структуре посевных площадей Западной Сибири занимают 63%, из них более 6 млн га или 73%, приходится на яровую пшеницу. При дефиците почвенно-климатических и финансовых ресурсов на жителя Омской области производится, включая яровую пшеницу, в 2,5 раза больше зерна, чем в среднем по России – более 1,5 тонн (Храмцов и др., 2020).

Яровая пшеница – ведущая зерновая культура региона, возделываемая в основном в полевых зернопаровых севооборотах. Наиболее высокую урожайность в области (2,5–3,0 т/га и более) получают при благоприятном увлажнении в условиях засушливого климата (менее 400 мм годовых осадков), обеспеченности элементами питания, благоприятном фитосанитарном состоянии агрофитоценоза по предшественникам первой группы (пар, озимые, пропашные, одно- и многолетние травы, зернобобовые). К сожалению, высокий удельный вес в структуре пашни посевов яровой пшеницы ограничивает набор ценных предшественников. В настоящее время качественные предшественники в зерносеющих зонах занимают до 650–680 тыс. га, что составляет не более 20% от площади пашни. Значителен (до 30–40%) удельный вес повторных и бессменных посевов культуры с негативными последствиями для продуктивности, технологических свойств зерна и плодородия почвы (Юшкевич и др., 2020).

В последние годы, особенно в более увлажненной лесостепной зоне, в связи с освоением ресурсосберегающих агротехнологий отмечается расширение плодосменных севооборотов без парового поля. Плодосмен строится по принципу чередования сельскохозяйственных культур различного направления (зерновые, масличные, зернобобовые) с разнообразным типом корневой системы (стержневая, мочковатая), формой листовой поверхности (узколистные, широколистные), поражением агрофитоценоза сорняками, вредителями, болезнями, азотфиксацией, рентабельностью возделывания (Чибис и Чибис, 2016). В этой связи в области расширяются посевы масличных (294 тыс. га), зернобобовых культур, включая сою (91 тыс. га). Соя в плодосменном севообороте является наиболее продуктивным предшественником, заменой паровому полю для основной зерновой культуры – яровой пшеницы. Обогащение почвы усвояемыми формами азота (до 80 кг/га) происходит за счет пожнивных и корневых остатков и дополнительной азотфиксации. Расширение посевов зернобобовых способствует повышению урожайности последующих культур без дополнительных затрат при улучшении экологического состояния агрофитоценоза (Юшкевич и др., 2014; Мансвелт и Темирбекова, 2017). Данных исследований в регионе проведено крайне недостаточно.

Научный поиск в области разработки систем возделывания сельскохозяйственных

культур на основе зернобобовых и оценку их экологической и экономической эффективности проводят в европейских странах. Зернобобовые занимают 14,5% от мировых посевных площадей, а в Европе – не более 1,5%. Интеграция зернобобовых культур в европейские сельскохозяйственные системы может способствовать переходу к более устойчивому производству продовольствия. Сдерживает рост посевов этих культур значительное количество вредителей и низкая средняя урожайность (Reckling M. et al, 2020). Сравнение систем возделывания сельскохозяйственных культур с зернобобовыми и без них в условиях Германии (Браденбург) и Швеции (Вестра-Гёталанд) показало, что в системах земледелия с бобовыми культурами наблюдалось снижение выбросов закиси азота на 18–33%, использования азотных удобрений – на 24–38% с положительным фитосанитарным эффектом (Reckling et al, 2016).

Цель исследований – установить результативность агротехнологий возделывания яровой пшеницы в плодосменном севообороте после соевого предшественника в южной лесостепи Западной Сибири.

Материалы и методы исследований. Изучение агротехники возделывания мягкой яровой пшеницы Омская 36 проводили в южно-лесостепной зоне Омской области в стационаре лаборатории ресурсосберегающих агротехнологий ФГБНУ «Омский АНЦ» (2011–2019 гг.). Содержание гумуса в лугово-черноземной тяжелосуглинистой почве было до 7%. Севооборот плодосменный (соя – яровая пшеница – лен масличный – ячмень), предшественник – соя. Изучали три варианта обработки почвы (отвальная на глубину 20–22 см; комбинированная – чередование вспашки и плоскорезной обработки под пшеницу и плоскорезная на глубину 10–14 см ежегодно под все культуры) и 6 вариантов применения средств химизации: контроль, гербициды, удобрения, гербициды + удобрения, гербициды + удобрения + фунгициды, комплексная химизация (гербициды + удобрения + фунгициды + ретарданты). В вариантах с удобрениями до посева вносили $N_{30}P_{30}$. Пестициды (баковые смеси гербицидов, фунгициды, ретарданты – опрыскивателем ОП-2000. Площади делянок: 1 порядка – 2184 м², 2 порядка – 308 м², учетная площадь делянок – 35 м². Повторность – 4-кратная. Срок посева – 20–25 мая с нормой высева 4,5 млн всхожих зерен на 1 га. Уборка однофазная Сампо-130 с измельчением соломы и дальнейшей ее заделкой на поле при обработке почвы.

Учеты и наблюдения проводили по общепринятым методикам. Технологические свойства зерна определены в лаборатории качества зерна по методикам регламентированным ГОСТ 9353-2016. Дисперсионный анализ полученных данных – по схеме многофакторного эксперимента без повторений по В.Н. Перегудову (1965). В таблицах приве-

дены значения НСР₀₅ для главных факторов (система обработки почвы и средства химизации).

Климат лесостепи Омской области резко континентальный с недостатком осадков (320–370 мм за год). В целом гидротермические условия вегетационных периодов складывались благоприятно для развития яровой пшеницы. Температура воздуха и ГТК в вегетационный период были близки к норме: 16,7 °С и 0,96. Превышение нормы осадков на 21–30 мм при ГТК 1,08–1,31 отмечено в 2013, 2015 и 2018 гг., засушливыми были 2012, 2014 и 2017 гг. (ГТК – 0,68–0,70) при средних многолетних значениях за май–август: температура воздуха 16,7 °С, сумма осадков – 206 мм, ГТК – 0,99.

Результаты и их обсуждение. Климатические условия весеннего периода в регионе довольно часто создают проблему получения полноценных всходов посевов яровой пшеницы. Исследования показали, что густота полных всходов культуры от комбинированной до ежегодной плоскорезной обработки почвы снижалась в среднем с 289 до 274 шт./м² (5,2%), что в большей степени было обусловлено повышенной инфицированностью посевного слоя патогенами корневой гнили.

Увеличение растительных остатков на поверхности поля при применении комплексной химизации выявило тенденцию снижения всходов пшеницы после соевого предшественника до 276–285 шт./м², однако сохранность растений к уборке здесь повысилась на 7–11%.

Приемы обработки и плотность верхнего слоя почвы заметно влияют на водопроницае-

мость и водный режим корнеобитаемого слоя в допосевной период, что во многом предопределяет влагозапасы к посеву яровой пшеницы после сои. Наблюдения показали, что наибольшее содержание продуктивной влаги 203 мм в слое 0–100 см отмечалось при комбинированной системе обработки почвы с превышением над плоскорезной на 18 мм (9,7%). В целом за вегетацию до уборки яровой пшеницы более благоприятный водный режим метровой толщи почвы складывался на комбинированном варианте – в среднем 161 мм.

В засушливых условиях наибольшую актуальность имеет проблема рационального использования водных ресурсов. Установлено, что в варианте без химизации на отвальной обработке расход влаги был более экономным – 134 мм на 1 тонну зерна. Применение комплексной химизации снизило коэффициент водопотребления до 70 мм/т, или в 2,3 раза, при наименьшем показателе на вспашке – 65 мм/т или экономней, чем на плоскорезной обработке на 11 мм (14,5%), что в большей степени определяется повышением засоренности агрофитоценоза.

Установлено, что без применения средств интенсификации на повторных и бессменных посевах при минимальной обработке почвы наблюдается повышение засоренности агрофитоценоза (Соколов и др., 2019; Синещев и Васильева, 2020). Система обработки почвы в севообороте и особенно применение средств интенсификации оказали влияние на степень засорения и видовой состав сорного компонента в посевах яровой пшеницы (табл. 1).

1. Засоренность посевов пшеницы после соевого предшественника в зависимости от технологии возделывания (среднее за 2011–2019 гг.)

1. Weediness of spring wheat sown after soybean, depending on the cultivation technology (average in 2011–2019)

Вариант опыта	Биомасса культуры, г/м²	Засоренность*				Процент от биомассы снопа
		всего	в том числе			
			мятликовые	двудольные	в том числе корнеотпрысковые	
Прием обработки почвы						
Отвальная	2393	72 / 468	58 / 176	14 / 292	3 / 254	16,4
Комбинированная	2306	81 / 525	63 / 167	18 / 358	9 / 314	18,5
Плоскорезная	2286	103 / 564	82 / 174	21 / 390	12 / 343	19,8
НСР ₀₅	Ff < Ft	Ff < Ft / Ff < Ft	Ff < Ft / Ff < Ft	4 / Ff < Ft	3 / 88	3,0
Средства интенсификации						
Контроль (без химизации)	1561	146 / 984	112 / 314	34 / 670	24 / 580	38,7
Гербициды + удобрения	2602	66 / 321	54 / 115	12 / 206	8 / 181	11,0
Комплексная химизация	2843	44 / 251	37 / 88	7 / 163	6 / 151	8,1
НСР ₀₅	178	28 / 88	26 / 61	4 / 81	3 / 88	3,0

* Засоренность: в числителе – количество сорняков, шт./м²; в знаменателе – масса сорняков, г/м².

При плоскорезной обработке в сравнении с отвальной, с одной стороны, отмечалось снижение биомассы снопа яровой пшеницы до 2286 г/м², а с другой – нарастание численности и биомассы сорняков на 43 и 21% соответственно. Удельный вес сорного компонен-

та в посевах пшеницы после сои, в основном за счет двудольных сорняков, повышался в пределах средней градации с 16,4 до 19,8%.

Применение средств химизации оказывало более существенное влияние на степень засорения и видовой состав сорного компонента в посе-

вах пшеницы после соевого предшественника. Без использования средств интенсификации биомасса культуры составила только 1561 г/м², а засоренность агрофитоценоза, в основном за счет нарастания корнеотпрысковых сорняков, была очень сильной и достигала 38,7% от биомассы снопа. Применение комплексной химизации способствовало существенному повышению биомассы пшеницы – в 1,8 раза, а также снижению численности и биомассы сорняков – в 3,3 и 3,9 раза до слабой степени – 8,1%, что оказало заметное влияние на продуктивность культуры.

Известно, что при минимизации основной обработки заселенность почвы патогенами, в том числе и возбудителями корневой гнили возрастает, особенно в условиях монокультуры, а урожайность зерна снижается. Даже двухлетний плодосмен может существенно снизить давление патогенов на почву (Торопова и др., 2012; Разина и др., 2021). В наших исследованиях степень развития (4,21–4,51%) и распространения инфекции (47,2–49,1%) после соевого предшественника, по вариантам обработки почвы различалась незначительно. В то же время применение средств химизации снижало поражение растений корневыми гнилями с 5,66%

на контроле до 3,56–4,07%, или в 1,4–1,6 раза при уменьшении распространения инфекции с 54,3 до 41,4–48,0%.

Несмотря на плодотворную работу сибирских селекционеров по созданию иммунных сортов, устойчивые агрофитоценозы ограничены и подвержены сукцессионным процессам, которые усиливаются за последние годы. Установленные ранее потери зерна сибирской пшеницы от листостеблевых болезней до 15% потенциального урожая в настоящее время занижены, а устойчивость сортов к фитопатогенам, к сожалению, функционирует в основном до 5–10 лет.

Из воздушно-капельных инфекций наибольший ущерб пшенице наносят септориоз (возбудитель *Septoria tritici*), бурая ржавчина (возбудитель *Puccinia triticina*), в последние годы (2015–2017, 2020 гг.) – вредоносная линейная (стеблевая) ржавчина (*Puccinia graminis* Pers.).

Установлено, что своевременное применение системных фунгицидов сохраняло фитосинтетическую активность листового аппарата, продлевало вегетацию растений яровой пшеницы до 3 суток и минимизировало потери урожая от аэробной инфекции (табл. 2)

2. Развитие и распространение листостеблевых инфекций на посевах яровой пшеницы после соевого предшественника в зависимости от агротехнологии возделывания (среднее по фактору за 2011–2019 гг.)

2. Development and spread of leaf-stem infections on spring wheat sown after soybean, depending on the cultivation technology (average in 2011–2019)

Вариант опыта	Листостеблевые инфекции					
	Бурая ржавчина		Септориоз		Мучнистая роса	
	R*	P**	R*	P**	R*	P**
Прием обработки почвы						
Отвальная	12,1	67,4	18,2	74,2	2,45	35,9
Комбинированная	8,7	49,5	19,0	71,6	2,52	37,7
Плоскорезная	13,6	64,3	18,1	72,5	1,89	27,6
НСП ₀₅	3,1	10,4	Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft	Ff < Ft
Средства интенсификации						
Без химизации (контроль)	13,7	80,0	23,6	89,3	3,48	44,2
Гербициды + удобрения	20,3	88,4	26,6	87,1	3,17	47,8
Комплексная химизация	0,91	12,7	5,07	41,9	0,21	9,3
НСП ₀₅	3,1	10,4	2,7	11,7	0,7	7,9

*R – развитие, %; **P – распространение, %.

Исследования показали несущественные различия, кроме бурой ржавчины, в развитии и распространении листостеблевых инфекций на вариантах обработки почвы после соевого предшественника.

Существенные различия в поражении верхнего яруса листьев отмечались при применении средств химизации. Установлено, что развитие и распространение бурой ржавчины и септориоза на контроле было значительно выше порога вредоносности. Применение удобрений и гербицидов способствовало усилению развития инфекций, кроме мучнистой росы, на 13–48%.

Обработка посевов яровой пшеницы системными фунгицидами на фоне совместного применения удобрений и гербицидов способствовала подавлению листостеблевых инфекций и продлению фотосинтетической активности листового аппарата растения яровой пшеницы. Применение фунгицидов снижало поражение верхнего яруса бурой ржавчиной до 0,91% (в 22,3 раза), септориозом – в 5,2, мучнистой росой – в 15,1 раза, что оказало влияние на урожайность и качество зерна.

Урожайность яровой пшеницы – величина интегральная и во многом определяется агротехнологией возделывания и гидротермическими условиями (табл. 3).

3. Урожайность яровой пшеницы после сои в зависимости от средств химизации и приемов обработки почвы, т/га (среднее за 2011–2019 гг.)

3. Productivity of spring wheat sown after soybean, depending on chemicals and tillage methods, t/ha (average in 2011–2019)

Прием обработки почвы	Средства химизации			Среднее по обработке почвы*
	контроль (без химизации)	гербициды + удобрения	комплексная химизация	
Отвальная	1,73	2,84	3,57	2,71
Комбинированная	1,32	2,46	3,35	2,37
Плоскорезная	1,32	2,47	3,05	2,28
Среднее по химизации*	1,46	2,59	3,32	–

* $HCP_{05} = 0,13 \text{ т/га}$.

По мере сокращения интенсивности обработки почвы в севообороте от ежегодной отвальной до мелкой (10–14 см) плоскорезной урожайность снижалась в среднем с 2,71 до 2,28 т/га или на 16%. В тоже время шведские исследователи отмечали (1983–2012 гг.) практически одинаковую урожайность для яровых зерновых и рапса при использовании отвальной и минимальных приемов обработки почвы. Продуктивность таких культур, как горох, сахарная свекла, картофель и озимый рапс снижалась на 5–10% при минимально-нулевой и на 9,8% – при нулевой обработке почвы. Исследования, проведенные в Литве, показали снижение урожайности кукурузы в системе без обработки почвы (Romaneckas et al, 2020). В нашем опыте на экстенсивной технологии возделывания яровой пшеницы урожайность составила только 1,46 т/га. При полунтенсивной технологии с систематическим применением удобрений ($N_{30}P_{30}$) и баковой смеси гербицидов, урожайность достигала 2,59 т/га, а с комплексным применением средств интенсификации она составила в среднем 3,32 т/га, с превышением относительно контроля в 2,3 раза. Из средств химизации наибольшую прибавку урожайности зерна обеспечило применение фунгицидов – 0,73 т/га, или 28,2%. Длительные наблюдения показали, что в различных гидротермических условиях вегетационного периода и агротехнологиях, показатель изменчивости по годам (коэффициент вариации, %)

и устойчивость к стрессовым абиотическим факторам при систематическом применении средств химизации возрастали. Так, на контроле (без химизации) коэффициент вариации урожайности зерна по годам исследований составил 39,6%, при применении гербицидов и удобрений – 25,5% и при комплексной химизации только 22,8% или устойчивость более высокой продуктивности пшеницы возросла более чем в 1,7 раза.

В России ежегодная потребность в сильном зерне составляет до 12 млн. тонн, фактически, в основном из-за резкого снижения внесения минеральных удобрений и нарушения агротехнологий, потребность удовлетворяется только на 25–30%. В Омской области в последние 15–20 лет сильное зерно яровой пшеницы отсутствовало, а удельный вес зерна 4–5 класса достигал 60–65%, а 3 класса только 30–40%. На качественные параметры зерна сибирской пшеницы значительное влияние оказывает технология возделывания культуры и, прежде всего, применение средств интенсификации.

Длительные исследования в плодосменном севообороте показали, что наибольшая урожайность и улучшение технологических параметров зерна яровой пшеницы отмечались на отвальной обработке почвы. Систематическое применение средств химизации, и прежде всего удобрений, оказывало более существенное влияние на параметры качества зерна яровой пшеницы (табл. 4).

4. Технологические параметры качества зерна яровой пшеницы после соевого предшественника в зависимости от применения средств химизации (среднее 2011–2019 гг.)

4. Technological parameters of spring wheat sown after soybean, depending on chemicals (average in 2011–2019)

Вариантопыта	Технологические свойства зерна				
	масса 1000 зерен, г	натура, г/л	стекловидность, %	содержание, %	
				белок	клейковина
Контроль	33,0	740	43	11,28	22,5
Гербициды + удобрения	33,7	735	50	12,79	25,7
Комплексная химизация	38,9	756	49	13,06	26,6
HCP_{05}	0,68	5,9	1,0	0,24	0,67

Так, применение средств химизации в комплексе способствовало повышению массы 1000 зерен на 0,7–5,9 г, или на 18%, от контроля (без химизации), натуры зерна – на 5–16 г/л, стекловидности – на 6–7% или на 14% от конт-

роля. Содержание белка в зерне достоверно увеличилось на 16% от контроля, сырой клейковины – на 18% и урожайности на 1,86 т/га. Качество зерна на контроле по наихудшему показателю (содержание белка и клейковины

в зерне) соответствовало 4 классу ГОСТ 9353-2016, а при применении средств химизации улучшилось до 3 класса. При рациональном применении средств комплексной химизации различия между отвальной и ресурсосберегающей комбинированной системами обработки почвы сглаживались и составляли только 4,7–6,2% при качестве зерна, соответствующим 3 классу, и способствовали получению прибыли более 14,4 тыс. руб. с гектара.

Выводы. В лесостепных агролашафтах Западной Сибири урожайность и технологические свойства зерна яровой пшеницы в плодосменном севообороте после соевого предшественника определялись агротехникой возделывания. Системы обработки почвы и средства интенсификации оказывали заметное влияние на элементы плодородия

лугово-черноземной почвы, фитосанитарное состояние агрофитоценоза, урожайность и качество зерна. Комплексное применение средств химизации способствовало снижению степени поражения растений корневыми гнилями до 3,6–4,1%, листовыми инфекциями – в 5,2–23,2 раза, численности и биомассы сорного компонента в агрофитоценозе – в 3,3–3,9 раза. При сокращении интенсивности обработки почвы в плодосменном севообороте от отвальной до мелкой плоскорезной урожайность яровой пшеницы после сои снижалась в среднем на 16%. Интенсивная технология возделывания яровой пшеницы повышала продуктивность культуры на 0,73–1,86 т/га от контроля, улучшала основные показатели качества зерна.

Библиографические ссылки

1. Мансвелт ван Я.Д., Темирбекова С.К. Органическое земледелие: принципы, опыт и перспективы // Сельскохозяйственная биология. 2017. № 3. Т. 52. С. 478–486. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.478rus.
2. Разина А.А., Солодун В.И., Зайцев А.М., Дятлова О.Г. Корневые гнили и урожайность яровой пшеницы в полевых севооборотах в зависимости от предшественников, приемов обработки почвы и удобрений // Земледелие. 2021. № 1. С. 3–6. DOI: 10.24424411/0044-3913-2021-10101.
3. Синещев В.Е., Васильева Н.В. Факторы, влияющие на численность сорных растений в посевах яровой пшеницы, на примере лесостепи Западной Сибири // Вестник Красноярского ГАУ. 2020. № 6(159). С. 62–70. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-62-70.
4. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Филипчук О.Д. Технологические особенности почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (в развитие концепции ФАО) // Агрохимия. 2019. № 5. С. 5–20. DOI: 10.1134/S000218811905003X.
5. Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Юшкевич Л.В., Захаров А.Ф. Фитосанитарные последствия приемов обработки почвы в лесостепи Западной Сибири // Вестник Бурятской гос. с.-х. академии им. В.Р. Филиппова. 2012. № 3(28). С. 86–91.
6. Чибис В.В., Чибис С.П. Формирование элементов плодородия почвы при плодосменном чередовании полевых культур // Земледелие. 2016. № 1. С. 20–22.
7. Юшкевич Л.В., Хамова О.Ф., Щитов А.Г., Тукмачева Е.В. Влияние повторных посевов яровой пшеницы на состояние почвенного плодородия и агрофитоценоза в лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2020. № 1(112). С. 33–37. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.10.
8. Romanekas K., Avizienyte D., Adamaviciene A., Buragiene S., Kriauciuniene Z., Sarauskis E. The impact of five long-term contrasting tillage systems on maize productivity parameters // Agricultural and food science. Vol. 29, No 1. 2020. Pp. 6–17.
9. Reckling M., Hecker J.-M., Bergkvist G., Watson C., Zander P., Stoddard F., Eory V., Topp K., Maire J., Bachinger J. (2016). A cropping system assessment framework – evaluating effects of introducing legumes into crop rotations // European Journal of Agronomy 76: 186–197. Corpus ID: 86132502, DOI: 10.1016/j.eja.2015.11.005.
10. Reckling M., Bergkvist G., Watson C. A., Stoddard F. L. and Bachinger J. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy // European Journal of Agronomy. (2020). 112. DOI 10.1016/j.eja.2019.125951.

References

1. Mansvel't van YA.D., Temirbekova S.K. Organicheskoe zemledelie: principy, opyt i perspektivy [Organic agriculture: principles, experience and perspectives] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2017. № 3. Т. 52. С. 478–486. DOI: 10.15389/agrobiology.2017.3.478rus.
2. Razina A.A., Solodun V.I., Zajcev A.M., Dyatlova O.G. Kornevye gnili i urozhajnost' yarovoj pshenicy v polevyh sevooborotah v zavisimosti ot predshestvennikov, priemov obrabotki pochvy i udobrenij [Root rot and spring wheat productivity in field crop rotations depending on forecrops, tillage and fertilizers] // Zemledelie. 2021. № 1. С. 3–6. DOI: 10.24424411/0044-3913-2021-10101.
3. Sineshchikov V.E., Vasil'eva N.V. Faktory, vliyayushchie na chislennost' sornyh rastenij v posevah yarovoj pshenicy, na primere lesostepi Zapadnoj Sibiri [Factors affecting the number of weeds in spring wheat on the example of the forest-steppe of Western Siberia] // Vestnik Krasnoyarskogo GAU. 2020. № 6(159). С. 62–70. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-62-70.
4. Sokolov M.S., Glinushkin A.P., Spiridonov YU.YA., Toropova E.YU., Filipchuk O.D. Tekhnologicheskie osobennosti pochvozashchitnogo resursosberegayushchego zemledeliya (v razvitie koncepcii FAO) [Technological features of soil and resource saving agriculture (in the development of the FAO concept)] // Agrokimiya. 2019. № 5. С. 5–20. DOI: 10.1134/S000218811905003X.
5. Toropova E.YU., Selyuk M.P., YUshkevich L.V., Zaharov A.F. Fitosanitarnye posledstviya priemov obrabotki pochvy v lesostepi Zapadnoj Sibiri [Phytosanitary consequences of soil cultivation techniques

in the forest-steppe of Western Siberia] // Vestnik Buryatskoj gos. s.-h. akademii im. V.R. Filippova. 2012. № 3 (28). S. 86–91.

6. CHibis V.V., CHibis S.P. Formirovanie elementov plodorodiya pochvy pri plodosmennom cheredovanii polevyh kul'tur [Formation of soil fertility elements due to field crop rotation] // Zemledelie. 2016. № 1. S. 20–22.

7. YUshkevich L.V., Hamova O.F., SHCHitov A.G., Tukmacheva E.V. Vliyanie povtornyh posevoj yarovoj pshenicy na sostoyanie pochvennogo plodorodiya i agrofitocenoza v lesostepi Zapadnoj Sibiri [The effect of repeated spring wheat sowings on soil fertility and agrophytocenosis in the forest-steppe of Western Siberia] // Plodorodie. 2020. № 1(112). S. 33–37. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.10.

8. Romaneckas K., Avizienyte D., Adamaviciene A., Buragiene S., Kriauciuniene Z., Sarauskis E. The impact of five long-term contrasting tillage systems on maize productivity parameters // Agricultural and food science. Vol. 29, No 1. 2020. Pp. 6–17.

9. Reckling M., Hecker J.-M., Bergkvist G., Watson C., Zander P., Stoddard F., Eory V., Topp K., Maire J., Bachinger J. (2016). A cropping system assessment framework – evaluating effects of introducing legumes into crop rotations // European Journal of Agronomy 76: 186–197. Corpus ID: 86132502, DOI: 10.1016/J.EJA.2015.11.005.

10. Reckling M., Bergkvist G., Watson C. A., Stoddard F. L. and Bachinger J. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy // European Journal of Agronomy. (2020). 112. DOI 10.1016/j.eja.2019.125951.

Поступила: 23.03.21; принята к публикации: 12.05.21.

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. Юшкевич Л.В. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, написание статьи; Пахотина И.В. – выполнение лабораторных исследований, сбор данных, анализ литературных данных, подготовка рукописи; Щитов А.Г. – выполнение полевых/лабораторных исследований, сбор данных, математическая обработка данных, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНА ОВСА ГОЛОЗЕРНОГО И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕСТА СМЕСЕЙ С ПШЕНИЧНОЙ МУКОЙ

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

Добавление в композиционные смеси при хлебопечении продуктов переработки овса повышает биологическую ценность нового изделия. Цель исследований – оценить биохимические свойства зерна овса голозерного сортов Багет и Бекас, установить реологические показатели теста смесей, полученных при смешивании овсяной сеяной и цельнозерновой муки с высококачественной пшеничной мукой по результатам фаринографического анализа. Внесение в смеси овсяных продуктов отражается на структурно-механических показателях теста и может ухудшать качественные показатели хлебобулочных изделий. Именно расшифровка диаграмм (фаринограф Брабендера, альвеограф Шопена и т.д.) дает глубокие ответы на вопросы, связанные с тестоведением, с характеристикой физических свойств теста.

Установлена высокая питательная ценность зерна сортов овса голозерного (цельнозерновая и сеяная мука): содержание белка больше чем в пшеничной муке на 50,3–7,6% и жира практически в 6–5 раз, что говорит о больших возможностях использования данной культуры в хлебопекарной промышленности. Исследования реологических параметров теста показали, что в композиционных смесях тип инградиентов (цельнозерновая мука, сеяная мука) и доля продуктов переработки овса голозерного (10, 20, 30%) влияют различно на физические свойства теста: по отношению к пшеничной муке высшего сорта увеличивается в смесях разжижение теста на 40–140 е.ф., сопротивляемость (стойкость) теста падает на 2,5–6,0 мин. и уменьшается валориметрическая оценка на 10–36 е.вал. При добавлении в смеси сеяной овсяной муки по сравнению с цельнозерновой физические свойства теста характеризуются лучшими показателями, однако внесение цельнозерновой овсяной муки в смеси сохраняет всю пользу овсяного зерна. Между сортами овса голозерного Багет и Бекас существенных различий по влиянию на реологические параметры теста не выявлено. При использовании в смесях овсяной муки отмечена тенденция к ухудшению физических свойств теста, различия достоверны по показателям сопротивляемости теста (стойкости) и валориметрической оценке.

Ключевые слова: голозерный овес, белок, жир, крахмал, мука цельнозерновая и сеяная, фаринограф Брабендера, реологические показатели теста.

Для цитирования: Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Анисимкина Н.В. Результаты изучения биохимических свойств зерна овса голозерного и физических свойств теста смесей с пшеничной мукой // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 61–65. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-61-65.



THE STUDY RESULTS OF BIOCHEMICAL PROPERTIES OF NAKED OATS AND PHYSICAL PROPERTIES OF THE DOUGH MIXTURES WITH WHEAT FLOUR

E.N. Shabolkina, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for technical and analytical service, elenashabolkina@yandex.ru; ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
S.N. Shevchenko, Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of RAS, head of the SamRC RAS, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;
N.V. Anisimkina, senior researcher of the laboratory for technical and analytical service, anisimkina.natalya@yandex.ru; ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Samarsky Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaykov, a branch of the Samarsky Federal Research Center RAS, 446254, Samara region, v.of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: samniish@mail.ru

Adding oat products to composite mixtures during baking increases the biological value of a new product. The purpose of the current study was to assess the biochemical properties of grain of the naked oat varieties 'Baget' and 'Bekas', to establish the rheological parameters of dough mixtures obtained by mixing white oat flour and whole grain flour with high-quality wheat flour according to the farinographic analysis. The introduction of oat products into the mixture affects the structural and mechanical indicators of the dough and can improve or worsen the quality indicators of bakery products. It is the decoding of the diagrams (Brabender farinograph, Chopin alveograph, etc.) that satisfy the questions related to the study of dough, with the characteristics of the physical properties of dough. There has been established a high nutritional grain value of the naked oat varieties (whole grain and white flour), when the protein percentage was on 5.3–7.6% more than in wheat flour and oil content was almost 6–5 times higher, which indicated great opportunities for using this grain crop in bakery. The study of the rheological parameters of dough showed that

in composite mixtures the type of ingredients (whole grain flour, white flour) and the proportion of naked oats products (10, 20, 30%) differently affect the physical properties of dough, i.e. in relation to premium wheat flour, dilution of dough increases on 40–140 u.f., resistance of dough to extension (stability) reduces on 2.5–6.0 min and valorigraphic number reduces on 10–36 u.v. When mixing with white oat flour compared to whole grain, the physical properties of the dough are characterized by the best indicators, however, the introduction of whole-ground oat flour in the mixture retains all the benefits of oat grain. There were no significant differences between the naked oat varieties 'Baget' and 'Bekas' in the effect on the rheological parameters of the dough. When using oat flour in mixtures, there was identified a tendency to deterioration of the physical properties of dough, the differences were significant in terms of the resistance of dough to extension (stability) and valorigraphic number.

Keywords: *naked oats, protein, oil, starch, whole grain flour, white flour, Brabender farinograph, rheological parameters of dough.*

Введение. В современном мире биобезопасность и питательные качества потребляемых продуктов имеют первостепенное значение. Здоровое питание подразумевает введение в ежедневный рацион нужной и необходимой пищи, содержащей важнейшие вещества: белки, клетчатку, витамины, минералы, незаменимые аминокислоты. Мучные изделия с добавлением продуктов переработки из овса (цельнозерновая и сеяная мука, крупа, толокно, хлопья, отруби) являются частью лечебного и диетического питания, так как белки овса более сбалансированы и по составу, и по соотношению аминокислот, легче усваиваются в процессе питания и нормализуют работу всего организма человека (Лоскутов и Полонский, 2017; Полонский и др., 2019). Во многих странах приняты и работают Национальные проекты по производству и переработке овса (Китай, Канада, Финляндия, Германия и т.д.) поддерживаемые государством, доказавшие полученными результатами значимость и необходимость данных программ (увеличение продолжительности жизни, сохранение полноценного здоровья, борьба с хроническим заболеванием – целиакией).

В хлебопечении добавление в композиционные смеси любых овсяных ингредиентов повышает биологическую ценность нового продукта, не только за счет увеличения общего содержания аминокислот, но и их сбалансированного состава, которым обеспечивает белок овса (Плеханов, 2014; Manzali et al., 2017; Шаболкина и др., 2020). Белок голозерного овса по сравнению с пленчатыми формами характеризуется более высоким содержанием на 1,5–3,8% в зерне, полноценным набором аминокислот и соотношением жирных кислот (Баталова и др., 2016; Козлова и Акимова, 2009), что делает голозерный овес необходимой частью здорового питания. Так же положительной стороной, которая играет большую роль при изготовлении хлебобулочных изделий, данной культуры является технологичность голозерного овса, процесс переработки которого осуществляется с меньшими энергетическими и материальными затратами.

В работах по качественному улучшению продуктов питания, содержащих различные овсяные ингредиенты, уделяется большое внимание не только соотношению компонентов в смесях, но и процессу тестоведения, который зависит от поведения теста в момент образования и от реологических свойств теста при определенной механической нагрузке,

которые определяются специальными приборами (фаринограф Брабендера, альвеограф Шопена и т.д.). Внесение в смеси любых овсяных продуктов ведет к увеличению количества необходимой для замеса воды (водопоглотительная способность муки), что отражается на структурно-механических показателях теста и может улучшать или ухудшать качество новых изделий. Именно расшифровка диаграмм дает глубокие ответы на вопросы, связанные с тестоведением, с характеристикой физических свойств теста.

Цель исследований – оценить биохимические свойства зерна овса голозерного и установить реологические показатели теста смесей, полученных при смешивании овсяной сеяной и цельнозерновой муки с высококачественной пшеничной мукой, по результатам фаринографического анализа.

Материалы и методы исследований.

В исследованиях, проведенных в 2018–2020 годах на экспериментальной базе Самарского НИИСХ, изучали два сорта овса голозерного Багет и Бекас. Цельнозерновую муку получали, размалывая зерно на мельнице Mill-3100, сеяную – на мельнице Квадрумат-Юниор с выходом 65%. В пшеничной муке высшего сорта (в/с) и овсяной цельнозерновой и сеяной определяли азот белковый по ГОСТ 10846-91, зольность – по ГОСТ 51411-99, жир – по ГОСТ 29033-91, крахмал – по ГОСТ 10845-98. Физические и реологические показатели теста определяли на фаринографе Брабендера по ГОСТ Р 51404-99 (ИСО 5530-1-97). Композиционные смеси с пшеничной мукой в/с готовили по массе (90:10, 80:20, 70:30) с различными ингредиентами (овсяная мука цельнозерновая и сеяная). Статистическая обработка полученных данных проведена по Б.А. Доспехову.

Результаты и их обсуждение. За годы исследований на качество зерна сортов голозерного овса Багет и Бекас значительное влияние оказали климатические условия зоны выращивания. В 2018 году недостаточное количество влаги в вегетационный период, жаркая погода и суховеи (3 дня) в июне, в 2019 и 2020 годах неустойчивый температурный режим (с колебаниями температур в начале вегетации ниже среднесезонных значений до 8 °С до атмосферной засухи в июне и 37,7 °С в июле: все эти погодные факторы отразились негативно на урожайности голозерного овса, но значительно повлияли на накопление белка до 19,5–19,9% в зерне и в муке сеяной – до 13,9–14,1%.

1. Химический состав муки сортов голозерного овса, цельнозерновой и сеяной (2018–2020 гг.)

1. Chemical composition of naked oat flour (whole grain flour, white flour), 2018–2020

Сорт	Белок, %	Зольность, %	Жир, %	Крахмал, %
Цельнозерновая мука				
Багет	19,9	2,6	6,0	55,7
Бекас	19,5	2,2	6,9	54,3
Сеяная мука				
Багет	14,1	0,7	4,7	70,6
Бекас	13,9	0,6	5,8	70,1
Пшеничная мука				
Мука, в/с	13,1	0,5	1,0	76,0
НСР ₀₅	1,653	0,497	0,686	3,00

Крахмал – усваиваемый «энергетический» углевод, в годы исследований практически не изменялся под влиянием условий произрастания, характеризовался стабильностью. По его содержанию выделился сорт Багет: в зерне – 55,7%, в муке 70,6%. Определение амилолитической активности зерна голозерного овса («число падения» в зерне – 288 с и в муке – 325 с) показало отсутствие активного фермента, что позволяет, учитывая этот фактор и высокое содержание данного углевода, считать перспективным сырьем в хлебопекарной промышленности продукты переработки овса голозерного.

Высокое содержание жира в зерне и в муке обеспечивает голозерному овсу нишу в перерабатывающих отраслях как энергетически ценной культуре. За годы исследований сорт Багет показал по жиру более низкие значения (в зерне на 13,1%, в муке на 19,0%), чем сорт Бекас и данный фактор возможно повлиял на показатели хлебопекарной выпечки данного сорта (более высокий объем хлеба до 780 см³ и лучшая хлебопекарная оценка до 4,5 баллов), так как жиры «тяжелят» тесто и замедляют процесс газообразования.

Мука как один из продуктов размола зерна различных культур не требует больших материальных затрат на свое производство в отличие от крупы, хлопьев и поэтому используется широко в различных отраслях. Пшеничная мука высшего сорта в опытах характеризо-

валась меньшим количеством белка (13,1%) и жира (1,0%) по отношению к овсяной муке, но более высоким содержанием крахмала (76,0%). Показатель зольности сеяной муки исследуемых культур, отвечающий за сортность, за 2018–2020 годы имел близкие значения (0,5–0,7%), но в пшеничной муке был немного меньше.

Проведенные исследования показали высокую питательную ценность овса голозерного (цельнозерновая и сеяная мука): содержание белка больше чем в пшеничной муке на 50,3–7,6% и жира практически в 6–5 раз, что говорит о больших возможностях использования данной культуры в хлебопекарной промышленности. Процесс хлебопечения зависит от тестоведения, а тестоведение – в свою очередь, от физических, реологических, структурно-механических параметров теста, которые определяются специальными приборами.

Экспериментально установлено, что в композиционных смесях тип ингредиентов (цельнозерновая мука, сеяная мука) и доля продуктов переработки овса голозерного (10, 20, 30%) влияют различно на физические свойства теста: по отношению к пшеничной муке высшего сорта увеличивается в смесях разжижение теста на 40–140 е.ф., сопротивляемость (стойкость) теста падает на 2,5–6,0 мин. и уменьшается валориметрическая оценка на 10–36 е.вал. (табл. 2).

2. Физические показатели теста смесей муки пшеничной (в/с) и овсяной (2018–2019 гг.)

2. Physical indicators of dough mixtures of premium wheat flour with oat flour (2018–2019)

Сорт	Вариант	Фаринограф			
		Сопротивляемость теста, мин*	Разжижение теста, е. ф.**	Валориметрическая оценка, е. вал.***	Водопоглощительная способность муки,%
Пшеничная мука, в/с		9,0	60	76	67,0
	Цельнозерновая мука				
Багет	90:10	6,5	150	60	68,0
	80:20	4,0	180	48	70,0
	70:30	3,0	200	40	72,0
Бекас	90:10	6,0	140	58	68,0
	80:20	4,0	170	46	71,0
	70:30	3,0	200	40	73,0
НСР ₀₅		1,8	Ff < Ft	8,2	Ff < Ft
	Сеяная мука				
Багет	90:10	6,5	100	66	67,0

Сорт	Вариант	Фаринограф			
		Сопротивляемость теста, мин*	Разжижение теста, е. ф.**	Валориметрическая оценка, е. вал.***	Водопоглощательная способность муки, %
Бекас	80:20	4,5	120	54	67,0
	70:30	4,5	180	48	69,0
	90:10	7,0	110	69	67,0
	80:20	4,5	130	52	68,0
	70:30	4,0	170	48	70,0
HCP _{0,5}		1,6	Ff < Ft	10,5	Ff < Ft

* – минуты; ** – единицы фаринографа; *** – единицы валориметра.

Ухудшение реологических показателей можно объяснить снижением общего содержания клейковины в композиционных смесях за счет уменьшения доли качественной пшеничной муки. И еще немаловажный фактор – это невозможность клейковинных белков овса проламинов (авенины) и глютелинов даже при их наличии образовывать клейковинный комплекс из-за их особого строения, различающегося по структуре от пшеничных белков и большого количества пентозанов (слизей), которые мешают агрегации белков.

При добавлении в смеси сеяной овсяной муки по сравнению с цельнозерновой физические свойства теста характеризуются лучшими показателями: в варианте 10% – изменяются незначительно, в вариантах 20, 30% валориметрическая оценка снижается на 13–37%, а разжижение повышается на 180%. Внесение в смеси цельнозерновой муки в количестве 10% изменяет поведение теста при механической нагрузке, но не критично, сохраняется эластичность и упругость теста. Дальнейшее увеличение данного ингредиента в смесях ухудшает интенсивно реологические параметры теста (разжижение увеличивается до 230%), но отмечено (Routanen, 2009; Чалдаев и Зимичев, 2012), что добавка при выпечке в смеси цельнозерновой овсяной муки повышает пищевую ценность хлебобулочных изделий и сохраняет всю пользу овсяного зерна.

Между сортами овса голозерного Багет и Бекас существенных различий по влиянию на реологические параметры теста не выявлено. При использовании в смесях овсяной муки отмечена тенденция к ухудшению физических свойств теста, различия достоверны по показателям сопротивляемости теста (стойкости) и валориметрической оценке.

Водопоглощательная способность муки – важная характеристика физических свойств теста: крепости и густоты, которая влияет на объем выпеченного продукта. Водопоглощение теста (ВПС, %) увеличивается с внесением

в композиционные смеси овсяной муки, содержащей в большом количестве связывающие воду некрахмальные полисахариды. Цельнозерновая мука, состоящая во многом из плодовых оболочек, хорошо поглощает воду (в варианте 30% ВПС достигает 73,0% против ВПС пшеничной муки в/с 67,0%), что обеспечивает больший припек при выпечке хлеба.

Выводы. Установлена высокая питательная ценность зерна сортов овса голозерного Багет и Бекас (цельнозерновая и сеяная мука): содержание белка больше чем в пшеничной муке на 50,3–7,6% и жира практически в 6–5 раз, что говорит о больших возможностях использования данной культуры в хлебопекарной промышленности.

Процесс хлебопечения зависит от тестоведения, а тестоведение – в свою очередь, от физических, реологических, структурно-механических параметров теста. В композиционных смесях тип ингредиентов (цельнозерновая мука, сеяная мука) и доля продуктов переработки овса голозерного (10, 20, 30%) влияют различно на физические свойства теста: по отношению к пшеничной муке высшего сорта увеличивается в смесях разжижение теста на 40–140 е.ф., сопротивляемость (стойкость) теста падает на 2,5–6,0 мин. и уменьшается валориметрическая оценка на 10–36 е.вал.

При добавлении в смеси сеяной овсяной муки по сравнению с цельнозерновой физические свойства теста характеризуются лучшими показателями, однако внесение цельнозерновой овсяной муки в смеси сохраняет всю пользу овсяного зерна.

Между сортами овса голозерного Багет и Бекас существенных различий по влиянию на реологические параметры теста не выявлено. При использовании в смесях овсяной муки отмечена тенденция к ухудшению физических свойств теста, различия достоверны по показателям сопротивляемости теста (стойкости) и валориметрической оценке.

Библиографические ссылки

1. Лоскутов И.Г., Полонский В.И. Селекция на содержание б-глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража // Сельскохозяйственная биология. 2017. Том 52. № 4. С. 646–657.
2. Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г. и др. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(6). С. 683–690.
3. Плеханов Л.В. Использование муки из голозерного овса или ячменя в смеси с пшеничной для производства хлеба // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 4. С. 65–66.

4. Шаболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Баталова Г.А., Васин А.В., Анисимкина Н.В., Бишарев А.А. Изучение биологической ценности белка зерна овса голозерного // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 2(34). С. 78–33.
5. Баталова Г.А., Шевченко С.Н., Тулякова М.В. и др. Селекция голозерного овса, ценного по качеству зерна // Российская сельскохозяйственная наука. 2016. № 5. С. 6–9.
6. Козлова Г.Я., Акимова О.В. Сравнительная оценка голозерных и пленчатых сортов овса по основным показателям качества зерна // Сельскохозяйственная биология. 2009. № 5. С. 87–89.
7. Чалдаев П.А., Зимичев А.В. Использование овса и продуктов его переработки в хлебопечении // Хлебопечение России. 2012. № 2. С. 22–23.
8. Poutanen K. Dietary fibre in a gluten-free diet // edited by E. K. Arendt and F. Dal Bello, AACCC International Inc. 2009. P. 125–129.
9. Manzali R., Antari A., Douaik A., Taghouti M., Bencheikroun M., Bouksaim M., Saidi N. Profiling of Nutritional and Health-Related Compounds in Developed Hexaploid Oat Lines Derivative of Interspecific Crosses // International Journal of Celiac Disease. 2017. Vol. 5. № 2. P. 72–76.

References

1. Loskutov I.G., Polonskij V.I. Selekcija na sodержanie b-glyukanov v zerne ovsa kak perspektivnoe napravlenie dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya, syr'ya i furazha [Breeding for the content of b-glucans in oat grain as a promising direction for obtaining healthy food products, raw materials and fodder] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2017. Tom 52. № 4. S. 646–657.
2. Polonskij V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G. i dr. Izuchenie sortov ovsa (*Avena sativa* L.) razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya po kachestvu zerna i produktivnosti [The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin in terms of grain quality and productivity] // Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii. 2019. № 23(6). S. 683–690.
3. Plekhanov L.V. Ispol'zovanie muki iz golozernogo ovsa ili yachmenya v smesi s pshenichnoj dlya proizvodstva hleba [Using flour obtained from naked oats or hull-less barley mixed with wheat for bread production] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2014. № 4. S. 65–66.
4. SHabolkina E.N., SHEvchenko S.N., Batalova G.A., Vasin A.V., Anisimkina N.V., Bisharev A.A. Izuchenie biologicheskoy cennosti belka zerna ovsa golozernogo [The study of the biological value of naked oat protein] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2020. № 2(34). S. 78–33.
5. Batalova G.A., SHEvchenko S.N., Tulyakova M.V. i dr. Selekcija golozernogo ovsa, cennogo po kachestvu zerna [Breeding of naked oats with valuable grain quality] // Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. 2016. № 5. S. 6–9.
6. Kozlova G.YA., Akimova O.V. Sravnitel'naya ocenka golozernyh i plenchatyh sortov ovsa po osnovnym pokazatelyam kachestva zerna [Comparative estimation of naked and hulled oat varieties according to the main indicators of grain quality] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2009. № 5. S. 87–89.
7. CHaldaev P.A., Zimichev A.V. Ispol'zovanie ovsa i produktov ego pererabotki v hlebopechenii [The use of oats and products of its processing in bakery] // Hlebopechenie Rossii. 2012. № 2. S. 22–23.
8. Poutanen K. Dietary fibre in a gluten-free diet // edited by E.K. Arendt and F. Dal Bello, AACCC International Inc. 2009. P. 125–129.
9. Manzali R., Antari A., Douaik A., Taghouti M., Bencheikroun M., Bouksaim M., Saidi N. Profiling of Nutritional and Health-Related Compounds in Developed Hexaploid Oat Lines Derivative of Interspecific Crosses // International Journal of Celiac Disease. 2017. Vol. 5. № 2. R. 72–76.

Поступила: 21.05.21; принята к публикации: 29.06.21.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗНАЧЕНИЕ КРАМБЕ АБИССИНСКОЙ (CRAMBE ABYSSINICA) И ЕЕ УРОЖАЙНОСТЬ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ МИРА (ОБЗОР)

Е.Л. Турина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории исследования технологических приемов в животноводстве и растениеводстве, turina_e@niishk.ru, ORCID ID: 0000-0002-7791-3030;
Т.Я. Прахова², доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, prakhova.tanya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7063-4784;
Л.А. Радченко¹, кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, l-radchenko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7410-1870
¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», 295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д.150; e-mail: priemnaya@niishk.ru;
²ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», 170041, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56; e-mail: info@fncl.ru

Непрекращающийся рост урбанизации и увеличение численности населения на планете определяют мировой рост на энергоносители. В то же время общество все больше осознает последствия экологических проблем в связи с изменением климата и активной добычей ископаемого топлива. Биодизель призван внести существенный вклад в будущие энергетические потребности экономики развитых стран. В связи с этим, крэмбе абиссинская (*Crambe abyssinica*) привлекает внимание как энергетическая культура. Поставлена цель исследований – на основе библиометрического анализа раскрыть возможные сферы применения *Crambe abyssinica* и собрать данные об урожайности культуры в мире. В статье охарактеризовано многообразие возможностей использования крэмбе, в основном непродовольственного значения: в косметике, парфюмерии, в технической промышленности, в качестве адсорбента сточных вод и другое. Установлено, что урожайность крэмбе абиссинской в мире в зависимости от региона возделывания колеблется в значительных пределах от 0,6 до 5 т/га и очень разнится от климатических условий. Показано, что продуктивность в России отечественных сортов крэмбе абиссинской Полет, Деметра и Арфа в условиях Средневолжского региона составляет в среднем 3,06–3,22, в Саратовской области – 1,45, в Крыму – 0,54–1,55 т/га. Многообразие генотипов культуры свидетельствует о наличии широких возможностей для дальнейшего совершенствования селекции сортов с улучшенным жирнокислотным составом с использованием передовых методов для изменения уже существующих генетических ресурсов.

Ключевые слова: крэмбе абиссинская, урожайность, значение, регион возделывания, масличность, жирнокислотный состав, сорт.

Для цитирования: Турина Е.Л., Прахова Т.Я., Радченко Л.А. Значение крэмбе абиссинской (*Crambe Abyssinica*) и ее урожайность в различных странах мира (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 66–72. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-66-72.



THE VALUE OF THE CROP 'CRAMBE ABYSSINICA' (CRAMBE ABYSSINICA) AND ITS PRODUCTIVITY IN VARIOUS COUNTRIES OF THE WORLD (REVIEW)

E.L. Turina¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher, leading researcher of the laboratory for the study of technological processes in husbandry and plant production, turina_e@niishk.ru, ORCID ID: 0000-0002-7791-3030;

T.Ya. Prakhova², Doctor of Agricultural Sciences, main researcher of the laboratory for breeding technologies, prakhova.tanya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-7063-4784;

L.A. Radchenko¹, Candidate of Agricultural Sciences, deputy director on scientific work, l-radchenko@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-7410-1870

¹Research Institute of agriculture in Crimea, 295493, Republic of Crimea, Simferopol, Kievskaya Str., 150; e-mail: priemnaya@niishk.ru;

²Federal Research Center of Fiber Crops, 170041, Tver, Komsomolsky Av., 17/56; e-mail: info@fncl.ru

The constant growth of urbanization and population of the planet are driving to a global energy growth. At the same time, society is increasingly aware of the consequences of environmental problems due to climate change and active extraction of fossil fuels. Biodiesel is intended to make a significant contribution to the future energy needs of the economies of developed countries. In this regard, the oilseed crop *Crambe abyssinica* attracts attention as an energy culture. The purpose of the current study was to identify the possible areas of the use of *Crambe abyssinica* and to collect data on the crop productivity in the world on the basis of bibliometric analysis. The current paper has described the range of possibilities for using *Crambe abyssinica*, mainly for non-food aim, namely in cosmetics, perfumery, in technical industry, as an adsorbent for wastewater, etc. There has been established that *Crambe abyssinica* productivity in the world, depending on the region of cultivation, varies within significant limits from 0.6 to 5 t/ha and varies greatly due to climatic conditions. There has been shown that the productivity of the domestic varieties of *Crambe abyssinica* 'Polet', 'Demetra' and 'Arfa' produces 3.06–3.22 t/ha in the Middle Volga region, 1.45 t/ha in the Saratov

region, 0.54–1.55 t/ha in the Crimea. The diversity of crop genotypes has indicated that there are wide opportunities for further breeding improvement in the varieties possessing better fatty acid composition using advanced methods to modify existing genetic resources.

Keywords: *Crambe abyssinica*, productivity, value, region of cultivation, oil content, fatty acid composition, variety.

Введение. Истощение мировых запасов углеводородных ресурсов и растущий спрос на возобновляемые виды топлива подчеркивают преимущества биотоплива, и сподвигают ученых многих стран к изучению альтернативных источников энергии традиционных ископаемому. Согласно расчетам на долю энергии, полученной из возобновляемых источников, приходится в мире примерно 25% (Stolarski et al., 2018). Тем не менее, этот процент может быть увеличен еще больше, приняв во внимание все потенциальные источники – солнце, ветер, воду, геотермальную энергию (использование тепла, накопленного во внутренних слоях земли), а также выращивание сельскохозяйственных энергетических культур.

Ни одна развитая страна не остается в стороне при решении этой глобальной проблемы – целью Европейского союза остается достичь доли в 20% возобновляемых источников энергии в энергобалансе к концу 2020 года и не менее 27% – к 2030 году, Японии – 22–24% к 2035 году, Южной Кореи – 11% к 2035 году. Несмотря на то, что Россия является одним из крупнейших экспортеров нефти, многие российские производственные организации проявляют активный интерес к производству и потреблению экологически чистых биоэнергосистем, получаемых из возобновляемого биологического сырья, и, согласно прогнозам, здесь доля возобновляемых источников энергии к 2035 году может достичь при позитивном сценарии 8–10% (Титова и др., 2017).

Зависимость мировой экономики от энергетических ресурсов ископаемого топлива и его истощения, неустойчивые цены на нефть и глобальные климатические изменения подвигают на обширные научные исследования экологически чистых видов биотоплива. Согласно позитивному сценарию, мировой объем производства биотоплива будет расти на 3,5% в год (Stolarski et al., 2018).

Существующие сегодня прогнозы роста производства биотоплива из растительного материала указывают на необходимость ана-

лиза различных культур, как важного возобновляемого ресурса, способного занять определенное место в так называемой «зеленой» энергетике.

Сельское хозяйство может предложить сырье для получения биотоплива из большого набора сельскохозяйственных культур. Тем не менее, по мнению большинства ученых, следует четко разделять энергетические культуры, используемые на пищевые цели и не связанные с пищевыми продуктами (кормами), поскольку проблема продовольственной безопасности не менее актуальна, и даже в научной литературе появилось новое понятие – «энергетическое земледелие» (Zanetti et al., 2016; Титова и др., 2017).

В этом направлении крэмбе абиссинская (*Crambe abyssinica*) как энергетическая культура, привлекает внимание ученых, о чем говорит большое количество публикаций за последнее десятилетие в высокорейтинговых изданиях. Тем не менее, обзорные статьи по вопросу возможности использования этой культуры были написаны исключительно за рубежом, но все они ориентированы на эвентуальность применения масла крэмбе в качестве источника для биотоплива (Stolarski et al., 2018; Costa et al., 2019). Для России *Crambe abyssinica* является нетрадиционной культурой, и научная литература о ней нацелена, в основном, на раскрытие вопросов повышения ее продуктивности.

Таким образом, цель настоящего обзора – на основе библиометрического анализа раскрыть возможные сферы применения *Crambe abyssinica* и собрать данные об урожайности культуры в мире.

Обзор вопроса в мире и России. *Crambe abyssinica* Hochst. – однолетняя масличная культура семейства Brassicaceae. Ее семена содержат до 46% слабовысыхающего масла с низким йодным числом (Прахова, 2017). Кислотное число масла низкое и варьирует от 3,9 до 8,9 мг КОН на 1 г жира, число омыления составляет 175,2–179,0 мг КОН на 1 г жира (табл. 1) (Уханов и др., 2018).

1. Физико-химические показатели масла крэмбе абиссинской 1. Physicochemical indicators of 'Crambe abyssinica' oil

Показатель	Значения
Йодное число, г йода на 100 г жира	93,0–97,0
Кислотное число, мг КОН на 1 г жира	3,9–8,9
Число омыления, мг КОН на 1 г жира	175,2–179,0
Температура застывания, °С ниже нуля	8,0–10,0
Плотность при 25 °С, г/см ³	0,905–0,925
Удельный вес при 15 °С	0,912–0,913

В целом состав масла культуры представлен около 65–75% жирных кислот мононенасыщенных и 10–15% полиненасыщенных.

Благодаря такой уникальной молекулярной структуре (содержание линолевой – 8,82% и линоленовой кислоты – 6,23% в условиях

Среднего Поволжья и 7,83 и 5,31% соответственно в Крыму) масло обладает чрезвычайной стойкостью к окислению и высоким температурам. Содержание эруковой кислоты очень высокое – 60% и выше (Прахова, 2017; Турина и др., 2019).

Из всего ассортимента крестоцветных масличных культур, содержащих в своем составе большое количество эруковой кислоты: *Brassica carinata*, *Brassica juncea*, *Sinapis alba*, *Brassica naps*, *Camelina sativa*, *Crambe abyssinica*, именно последняя представляет наибольший интерес, учитывая ее ограниченное использование в пищевых целях (Zorn et al., 2019).

Ввиду того, что эруковая кислота – важное исходное сырье в oleохимической индустрии, масло крамбе используют в основном в технической промышленности. Естественный высокий уровень эруковой кислоты позволяет применять масло крамбе для изготовления пластических пленок, пластмасс, смол, лаков, ингибитора коррозии, в производстве синтетических каучуков и волокон, смазочных масел, покрытий, олиф, материалов для электрической изоляции, при производстве нейлона и как жидкий теплоноситель (Costa et al., 2019).

Кроме того масло находит применение в качестве адъюванта для пестицидов, а полностью гидрогенизированное крамбовое масло имеет потенциальную ценность в виде компонента воска (Zorn et al., 2019).

В последнее время в иностранной и в отечественной литературе показан экспериментальный материал, доказывающий, что крамбе представляет собой перспективный источник производства биодизельного топлива. Такой биодизель является более стабильным, чем, например, из сои, и имеет высокую эффективность преобразования энергии (Stolarski et al., 2018; Уханов и др., 2018; Costa et al., 2019).

Стоит отметить, что по сравнению с другими масличными, используемыми для производства биодизельного топлива (рапс, подсолнечник, соя), затраты на производство семян *Crambe* являются самыми низкими. Это связано с тем, что данная культура отличается малой повреждаемостью вредителями и поражаемостью болезнями, что позволяет существенно экономить на средствах защиты растений (Прахова, 2017).

Кроме этого, современные исследования, проведенные иностранными и российскими учеными по оценке производительности и выбросов вредных газов двигателем, работающим на основе соевого, льняного и крамбового масла, показали, что работа на топливе из *Crambe* приводит к значительному уменьшению выброса вредных веществ (CO , CO_2). Причем ученые показали возможность работы двигателя как отдельно на крамбовом дизеле, так и в смеси в различном соотношении с минеральным топливом (Stolarski et al., 2018; Уханов и др., 2018; Zorn et al., 2019).

Косметика является важным потребительским продуктом, играющим существенную

роль в жизни каждого современного человека, и в данной отрасли широко применяется масло крамбе. Помимо использования его в традиционных косметических средствах (губные помады, блески, парфюмерия), масло крамбе могут применять при изготовлении средств гигиены – входят в состав мыла, шампуней, увлажняющих и питательных кремов для лица и тела (Francis, Campbell, 2003; Прахова, 2017). Считается, что крамбовое масло обладает противовоспалительными, тонизирующими, питательными свойствами и может использоваться для любых типов кожи, в том числе чувствительной. Установлена возможность применения таких изделий в качестве солнцезащитных средств. По своим физико-химическим свойствам масло крамбе полностью соответствует ГОСТу 32852-2014 на косметические масла.

Благодаря низкому йодному числу, масло этой культуры редко, но используется в пищевой промышленности при производстве майонезов и маргарина, и в кондитерской промышленности (как салатное). По своему качеству напоминает масло горчицы белой (Francis and Campbell, 2003; Турина и др., 2019).

После извлечения масла жмых крамбе абиссинской может быть использован в качестве кормовой добавки для овец, свиней и крупного рогатого скота, поскольку содержит до 40% белка (Syperreck et al., 2016). Однако делать это нужно с осторожностью, поскольку в различных регионах крамбе может содержать и разное количество глюкозинолатов, повышенное потребление которых может приводить к увеличению печени и щитовидной железы животных. В исследованиях немецких ученых скормливание молочным коровам жмыха крамбе 30% от доли всего рациона приводило к снижению продуктивности животных. Syperreck M.A. с соавторами считает, что более эффективно использование жмыха крамбе для овец, поскольку даже большая доля (до 70%) такого компонента рациона не оказывает отрицательного действия на организм.

Бразильские ученые считают перспективным новое направление использования жмыха – в качестве природного адсорбента сточных вод, а также в аквакультуре при выращивании серебряного сома (*Rhamdia quelen*) (Viana et al., 2015).

Кроме этого крамбе абиссинская представляет агрономический интерес как высокоурожайная, неприхотливая к почве, засухоустойчивая культура с коротким вегетационным периодом от 90 до 100 дней, благодаря чему она рано освобождает поле. Крамбе может использоваться как сидеральная культура и является хорошим фитосанитаром почв (Турина и др., 2019).

В настоящее время поиск и изучение сельскохозяйственных растений, применяемых для фиторемедиации почв, очень актуальны, главным образом, в связи с экологическими проблемами, вызванными загрязнением почв тяжелыми металлами. Современными иссле-

дованиями бразильских ученых установлено, что крамбе имеет определенную фитореимедиционную способность, в частности, обладает большим потенциалом фитоэкстракции кадмия и фитостабилизации свинца (Francis and Campbell, 2003; Прахова, 2017). Кроме того, эту культуру успешно можно использовать в качестве природного адсорбента хрома, что является хорошей альтернативой химической рекультивации.

Засоление является одним из основных факторов, ограничивающих продуктивность сельского хозяйства в засушливых и полузасушливых регионах. Под влиянием солевого стресса большинство культурных растений не может в полной мере проявить свой продуктивный потенциал. Например, выращивание *Crambe abyssinica* в засушливой зоне Центральной Азии и Приаралье и орошение ее слабосолоноватой водой, несмотря на некоторое снижение продуктивности, довольно эффективно и выгодно (Ionov и др., 2013). В связи с чем, авторы делают вывод о том, что культура способна давать удовлетворительные урожаи на почве, диапазон значений электропроводности которой варьирует в пределах от 2,5 до 6,0 дСм/м, а также о целесообразности ее культивирования в районах Аральского моря.

Другие подобные исследования с крамбе также подтвердили определенную толерантность растения к оросительной воде электропроводностью от 0,9 до 7,9 дСм/м и содержащих NaCl и CaCl₂ (1:1 по массе), что позволило ученым отнести эту культуру в группу растений, умеренно чувствительную к засолению (Zanetti и др., 2016).

Crambe abyssinica является уроженцем Средиземноморского региона и высокогорий Восточной Африки. Благодаря своей высокой пластичности и экологической адаптивности крамбе можно выращивать в регионах с уровнем осадков от 350 до 1200 мм в год и среднегодовой температурой воздуха 5–7°C, летней температурой 15–26°C, на почвах с pH от 5 до 7,8 (Прахова, 2017; Kurt et al., 2018).

Сейчас крамбе абиссинская культивируется во многих странах мира – США, Канаде, Польше, Швеции, Италии, Пакистане, Индии, Китае, Бразилии, Японии, Чехии, Ирландии, Турции, Германии, Нидерландах, Австрии, Португалии, Аргентине, Австралии и России. В научных кругах проводится серьезная работа по генетическому усовершенствованию *Crambe abyssinica* с использованием современных селекционных методов и сортов, где наметился значительный прогресс в изменении жирнокислотного состава масла (регулирование содержания эруковой кислоты, снижение уровня глюкозинолатов).

Урожайность крамбе абиссинской в зависимости от региона возделывания колеблется в значительных пределах: от 0,6 до 5 т/га. По мнению Zanetti F. с соавторами (2016), часто низкая урожайность крамбе обусловлена чувствительностью культуры к низким темпе-

ратурам на начальных этапах роста, а также неэффективным использованием солнечной радиации, которое приводит к формированию малого количества плодиков на растениях.

Например, по данным Costa E. с соавторами (2019), средняя урожайность этой культуры в Португалии невысокая – 0,742 т/га с содержанием масла в семенах от 26 до 34%.

В Польше урожайность варьирует в пределах 1,19–1,78 т/га, при этом установлена четкая зависимость ее от гидротермического коэффициента по Селянинову: в годы благоприятные по влагообеспеченности, урожайность достигает практически 2 т/га, а в сухие годы снижается (Stolarski, 2018).

Kurt O. с соавторами (2018) помимо климатических условий, считают необходимым брать во внимание и адаптивность сортов – исследования, проведенные на севере Турции с различными сортами и сортообразцами показали, что в зависимости от этих факторов урожайность *Crambe abyssinica* варьирует значительно – от 0,421 до 2,717 т/га.

В Италии в ходе испытаний были выделены три сорта крамбе (*Galactica*, *Nebula* и *Mario*), при культивировании которых в условиях Южной Сицилии получена наибольшая урожайность семян 2,29 т/га. Установлено, что более высокие урожайности семян можно получить на севере Италии, а на юге продуктивность культуры значительно ниже (Zanetti et al., 2016).

Экспериментальные данные, полученные в различных регионах Чехии, показали возможность получения урожайности семян крамбе на уровне 1,38–1,95 т/га с масличностью 32–34% (Ionov et al., 2013).

По данным Viana O.H. с соавторами (2015), 2,118 т/га – это наибольшая урожайность маслосемян крамбе, которую удалось получить за многолетние исследования в Бразилии в штате Парана. Исследователи считают, что крамбе имеет большие перспективы и анонсируется здесь как альтернативная энергетическая культура соевым бобам, рапсу и ятрофе. В то же время подобные исследования в регионе с этим растением, проведенные по системе прямого посева, показали, что в этом случае продуктивность культуры уменьшается до 1,5 т/га.

Сравнение урожайности масличных культур, собранных в различных регионах Австралии, показывает целесообразность выращивания *Crambe abyssinica* в стране. Потенциал получения наибольшей урожайности 3,1 т/га с масличностью 32% по сравнению с *Linseed* – 0,2–2,0 т/га, *Camelina* – 0,6–2,3 т/га, *Canola* – 0,1–2,6 т/га, *Guizotia abyssinica* – 0,05–0,73 т/га. За два года исследований крамбе по урожайности уступала здесь только *Brassica juncea* и *Brassica carinata* (Francis, Campbell, 2003).

Биологическая урожайность культуры в опытах Wang Y.P. с соавторами (2000) в Китае варьировала в пределах от 1,4 до 5,0 т/га, масличность семян достигала 34,5%, содержание эруковой кислоты – до 62%.

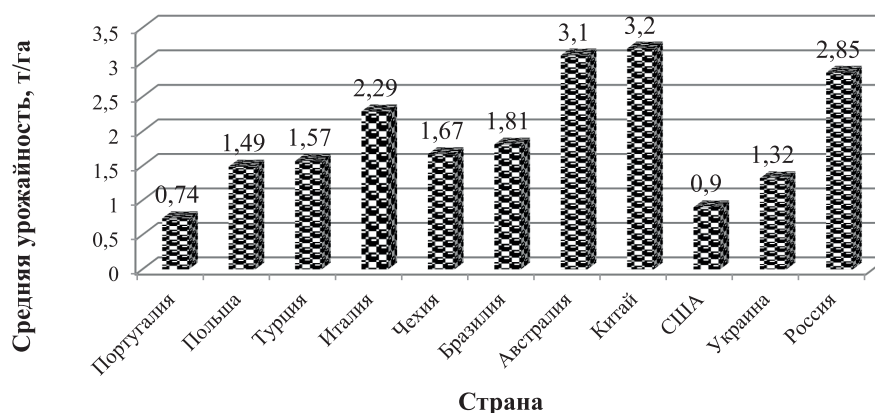
В США крамбе выращивается в основном на западных и северных землях, что позволяет получать в среднем урожайность 0,9 т/га с масличностью плодиков 35% и содержанием эруковой кислоты 60%. По мнению исследователей, в Америке можно отвести под эту культуру в перспективе более 65000 акров (Zanetti et al., 2016).

Средняя урожайность крамбе абиссинской в условиях Восточной Лесостепи Украины составляла 1,32 т/га и уступала лишь редьке масличной. Из положительных характеристик культуры были отмечены низкие затраты на ее выращивание и неагрессивность плодиков. Результаты исследований позволили ученым отнести крамбе к числу перспективных масличных культур для данной зоны (Kurt et al., 2018).

В России в настоящее время *Crambe abyssinica* культивируется на площади около 1000 га, в основном в условиях Среднего Поволжья, Башкортостане и Крыму.

В научных публикациях российских ученых убедительно показана возможность получения продуктивности крамбе 3,0 т/га и выше с масличностью плодиков 39,7%, семян – 47,7% в Пензенской области; 1,79–2,41 т/га с содержанием масла в семенах до 43,5% – в Башкортостане и до 2,16 т/га с масличностью 23,31–33,63% – в Крыму (Прахова, 2017; Турина и др., 2019).

Таким образом, урожайность крамбе абиссинской в мире в зависимости от региона возделывания значительно варьирует (см. рисунок).



Средняя урожайность крамбе абиссинской по странам
Mean productivity of 'Crambe abyssinica' throughout the countries

На 2020 год в Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, включено 5 сортов культуры: ВИР 1 и ВИР 2 (оригинаторы ГНУ ГНЦ ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова, ГНУ Екатеринбургская опытная станция ВНИИР, ЗАО НП фирма «Российские семена»), Полет и Деметра (выведены Пензенским ИСХ), Арфа (оригинаторы ФГБНУ Российский НИПТИ сорго и кукурузы, ООО ОВП «Покровское»).

В монографии Праховой Т.Я. (2017) показано, что средняя урожайность сортов крамбе отечественной селекции Полет и Деметра в условиях Средневолжского региона составляет 3,06 и 3,22 т/га, масличность семян – 45,1 и 46,2%, а плодиков – 39,1 и 40,0% соответственно. Реализация потенциала урожайности сортов в этой зоне сравнительно высокая – 77,5–88,9%, что объясняется их способностью противостоять действию различных биотических и абиотических стрессов. Масло характеризуется повышенным содержанием эруковой кислоты – 57,81–58,96% и низким уровнем насыщенных кислот, которые в сумме составляют около 2,0%.

Исследование элементов технологии крамбе сорта Полет в условиях Центральной степи

Крыма показало высокую зависимость культуры от погодных условий – во влажные годы здесь можно получить до 2,16 т/га с масличностью плодиков 29,73–33,63%, а в сухие урожайность резко снижается до 0,24–0,56 т/га при масличности 23,31–24,81%. Содержание эруковой кислоты в масле достигает 55,34–60,5% (Турина и др., 2019).

Средняя урожайность нового сорта Арфа в условиях Саратовской области составила 1,45 т/га, содержание жира в плодиках – 45,2% (Волков и Зайцев, 2019).

Имеющийся в современной мировой литературе экспериментальный материал по изучению многообразия генотипов культуры, свидетельствует о наличии широких возможностей для дальнейшего совершенствования селекции сортов с улучшенным жирнокислотным составом с использованием передовых методов для изменения уже существующих генетических ресурсов (Kurt et al., 2018; Волков и Зайцев, 2019).

Заключение. Таким образом, проведенный анализ научной литературы позволил охарактеризовать многообразие возможностей использования крамбе, в основном не продовольственного значения. Тем не менее,

главным направлением использования культуры в мире остается получение экологически чистого возобновляемого топлива, высокий спрос на которое обуславливает научный и промышленный интересы в различных странах. Диверсификация растениеводства и рас-

ширение площадей под крэмбе может стать важным шагом в долгосрочной перспективе для решения проблемы получения биологического сырья для биотоплива и биоавиакеросина.

Библиографические ссылки

1. Волков Д.П., Зайцев С.А. Новый сорт крэмбе Арфа, рекомендуемый для регионов возделывания культуры // Сб. материалов конференции «Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки масличных и других технических культур». Краснодар: ВНИИМК им. В.С. Пустовойта, 2019. С. 28–33.
2. Прахова Т.Я. Крэмбе абиссинская (*Crambe abyssinica* Hochst.): монография. Пенза: РИО ПГАУ, 2017. 132 с.
3. Титова Е., Бондарчук Н., Романова Е. Экономические аспекты культивирования некоторых растений, используемых в качестве сырья для биотоплива // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 1. С. 54–61.
4. Турина Е.Л., Прахова Т.Я., Ефименко С.Г. Возделывание крэмбе абиссинской (*Crambe abyssinica* Hochst.) в условиях Степного Крыма // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 2(18). С. 103–110. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-102-109.
5. Уханов А.П., Володько О.С., Быченин А.П., Ерзамаев М.П. Показатели физико-химических, теплотворных, трибологических свойств масла крэмбе абиссинской и дизельного смесового топлива // Нива Поволжья. 2018. № 2. С. 141–148.
6. Costa E., Almeida M.F., Alvim-Ferraz C., Dias J.M. Cultivation of *Crambe abyssinica* non-food crop in Portugal for bioenergy purposes: agronomic and environmental assessment // Industrial crops and Products. 2019. Vol. 139. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111501.
7. Francis C.M., Campbell M.C. New high quality oil seed crops for temperate and tropical Australia // University of Western Australia. 2003. 27 p.
8. Ionov M., Yuldasheva N., Ulchenko N., Glushenkova A.I., Heuer B. Growth, development and yield of *Crambe abyssinica* under saline irrigation in the greenhouse // Journal of Agronomy and Crop Science. 2013. Vol. 199. No. 5. P. 331–339. DOI: 10.1111/jac.12027
9. Kurt O., Ozyilmaz T., Gore M. Determination of yield and yield components of some *Crambe* genotypes in the world collection // Scientific Papers Series A-Agronomy. 2018. Vol. 61. No. 1. P. 304–309.
10. Stolarski M.J., Krzyzaniak M., Kwiatkowski J., Tworkowski J., Szczukowski S. Energy and economic efficiency of Camelina and *Crambe* biomass production on a large-scale farm in north-eastern Poland // Energy. 2018. Vol. 150. P. 770–780. DOI: 10.1016/j.energy.2018.03.021.
11. Syperreck M.A., Mizubuti I.Y., Pereira E.S., Ribeiro E.L.D., Peixoto T.E.L., Pimentel P.G., Franco A.L.C., Massaro F.L., Brito R.M., Parra A.R.P. Feeding behavior in lambs fed diets containing *Crambe* cake // Semina-Ciencias Agrarias. 2016. Vol. 34. No. 4. P. 2633–2640. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2633.
12. Viana O.H., Santos R.F., de Oliveira R.C., Secco D., de Souza S.N.M., Tokura L.K., da Silva T.R.B., Gurgacz F. *Crambe* (*Crambe abyssinica* H.) development and productivity under different sowing densities // Australian Journal of Crop Science. 2015. Vol. 9. No. 8. P. 690–695.
13. Wang Y.P., Tang J.S., Chu C.Q., Tian J. A preliminary study on the introduction and cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an oil plant for industrial uses // Industrial Crops and Products. 2000. Vol. 12. No. 1. P. 47–52. DOI: 10.1016/S0926-6690(99)00066-7.
14. Zanetti F., Scordia D., Vamerali T., Copani V., Dal Cortivo C., Mosca G. *Crambe abyssinica* a non-food crop with potential for the Mediterranean climate: Insights on productive performances and root growth // Industrial Crops and Products. 2016 Vol. 90 P. 152–160. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.06.023.
15. Zorn K., Oroz-Guinea I., Bornscheuer U.T. Strategies for enriching erucic acid from *Crambe abyssinica* oil by improved *Candida antarctica* lipase variants // Process Biochemistry. 2019. Vol. 79. P. 65–76. DOI: 10.1016/j.procbio.2018.12.022.

References

1. Volkov D.P., Zajcev S.A. Novyj sort krambe Arfa, rekomenduemyj dlya regionov vozdel'vaniya kul'tury ['Arfa', the new variety of *Crambe abyssinica*, recommended for regions of cultivation] // Sb. materialov konferencii «Aktual'nye voprosy biologii, selekcii, tekhnologii vozdel'vaniya i pererabotki maslichnyh i drugih tekhnicheskikh kul'tur». Krasnodar: VNIIMK im. V.S. Pustovojta, 2019. S. 28–33.
2. Prahova T.YA. Krambe abissinskaya (*Crambe abyssinica* Hochst.) [Crambe abyssinica (*Crambe abyssinica* Hochst.): monografiya. Penza: RIO PGAU, 2017. 132 s.
3. Titova E., Bondarchuk N., Romanova E. Ekonomicheskie aspekty kul'tivirovaniya nekotoryh rastenij, ispol'zuemyh v kachestve syr'ya dlya biotopliva [Economic aspects of the cultivation of some plants used for biofuels] // Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal. 2017. № 1. S. 54–61.
4. Turina E.L., Prahova T.YA., Efimenko S.G. Vozdelyvanie krambe abissinskoy (*Crambe abyssinica* Hochst.) v usloviyah Stepnogo Kryma ['Crambe abyssinica' (*Crambe abyssinica* Hochst.) cultivation in the steppe Crimea] // Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki. 2019. № 2(18). S. 103–110. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-102-109.
5. Uhanov A.P., Volod'ko O.S., Bychenin A.P., Erzamaev M.P. Pokazateli fiziko-himicheskikh, teplotvornykh, tribologicheskikh svojstv masla krambe abissinskoy i dizel'nogo smesovogo topliva [Indicators of physicochemical, thermal value, tribological properties of 'Crambe abyssinica' oil and diesel mixed fuel] // Niva Povolzh'ya. 2018. № 2. S. 141–148.

6. Costa E., Almeida M.F., Alvim-Ferraz C., Dias J.M. Cultivation of *Crambe abyssinica* non-food crop in Portugal for bioenergy purposes: agronomic and environmental assessment // *Industrial crops and Products*. 2019. Vol. 139. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111501.
7. Francis C.M., Campbell M.C. New high quality oil seed crops for temperate and tropical Australia // *University of Western Australia*. 2003. 27 r.
8. Ionov M., Yuldasheva N., Ulchenko N., Glushenkova A.I., Heuer B. Growth, development and yield of *Crambe abyssinica* under saline irrigation in the greenhouse // *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2013. Vol. 199. No. 5. P. 331–339. DOI: 10.1111/jac.12027.
9. Kurt O., Ozyilmaz T., Gore M. Determination of yield and yield components of some *Crambe* genotypes in the world collection // *Scientific Papers Series A-Agronomy*. 2018. Vol. 61. No. 1. P. 304–309.
10. Stolarski M.J., Krzyzaniak M., Kwiatkowski J., Tworkowski J., Szczukowski S. Energy and economic efficiency of *Samelina* and *Srambe* biomass production on a large-scale farm in north-eastern Poland // *Energy*. 2018. Vol. 150. P. 770–780. DOI: 10.1016/j.energy.2018.03.021.
11. Syperreck M.A., Mizubuti I.Y., Pereira E.S., Ribeiro E.L.D., Peixoto T.E.L., Pimentel P.G., Franco A.L.C., Massaro F.L., Brito R.M., Parra A.R.P. Feeding behavior in lambs fed diets containing *Crambe* cake // *Semina-Ciencias Agrarias*. 2016. Vol. 34. No. 4. P. 2633–2640. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2633.
12. Viana O.H., Santos R.F., de Oliveira R.C., Secco D., de Souza S.N.M., Tokura L.K., da Silva T.R.B., Gurgacz F. *Crambe* (*Crambe abyssinica* H.) development and productivity under different sowing densities // *Australian Journal of Crop Science*. 2015. Vol. 9. No. 8. P. 690–695.
13. Wang Y.P., Tang J.S., Chu C.Q., Tian J. A preliminary study on the introduction and cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an oil plant for industrial uses // *Industrial Crops and Products*. 2000. Vol. 12. No. 1. P. 47–52. DOI: 10.1016/S0926-6690(99)00066-7.
14. Zanetti F., Scordia D., Vamerali T., Copani V., Dal Cortivo C., Mosca G. *Crambe abyssinica* a non-food crop with potential for the Mediterranean climate: Insights on productive performances and root growth // *Industrial Crops and Products*. 2016 Vol. 90 P. 152–160. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.06.023.
15. Zorn K., Oroz-Guinea I., Bornscheuer U.T. Strategies for enriching erucic acid from *Crambe abyssinica* oil by improved *Candida antarctica* lipase a variants // *Process Biochemistry*. 2019. Vol. 79. P. 65–76. DOI: 10.1016/j.procbio.2018.12.022.

Поступила: 7.07.20; принята к публикации: 2.04.21.

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. Турина Е.Л., Прахова Т.Я., Радченко Л.А. – концептуализация исследования, сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Турина Е.Л. – подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

УДК 632.482.19:633.14

DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-73-78

РАЗВИТИЕ СПОРЫНЬИ НА НИЗКОПЕНТОЗАНОВОЙ ДИПЛОИДНОЙ ОЗИМОЙ РЖИ

В.Д. Кобылянский, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела генетических ресурсов овса, ржи, ячменя, osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2193-8105;

О.В. Солодухина, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела генетики osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3117-6693

ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190031, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42, 44; e-mail: secretary@vir.nw.ru

Спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr) Tul.) – широко распространенное заболевание ржи. Сильное развитие болезни способно снизить до 60% урожайности зерна и его качество. Среди генофонда ржи не обнаружено образцов, полностью устойчивых к *Cl. purpurea*. Начиная с 2016 года, в России допущены к возделыванию шесть новейших сортов озимой ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне. Замечено, что низкопентозановые сорта в меньшей степени поражаются спорыньей. Вредоносное влияние болезни во многом зависит от параметров склероциев. Цель исследования – охарактеризовать развитие спорыньи на растениях высокопентозанового сорта озимой ржи Эра и его низкопентозанового аналога сорта Новая Эра. Были оценены зараженность сортов, размеры и масса сформировавшихся склероциев. Установлено, что при одинаковом уровне инфекционной нагрузки зараженность сорта Эра составила 48,5, а Новая Эра – 18,1%. На колосьях высокопентозановой ржи формировались полноценные склероции, размером 15,97–23,55 мм в длину и 2,68–3,83 мм в ширину. На низкопентозановой ржи Новая Эра гриб образовал слаборазвитые склероции, масса которых была в 4–8 раз меньше, чем на сорте Эра. Малый размер и масса рожков способствуют их удалению из урожая при обмолоте и снижают засоренность зерна ржи спорыньей. На зараженность ржи болезнью влияет частота низкопентозановых растений, встречающихся в сортовой популяции. Частота низкопентозановых растений в сорте Эра составляет 43, а Новая Эра – 95%. Создание сортов ржи, характеризующихся низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне, сопряжено с селекцией на устойчивость к *Cl. purpurea*.

Ключевые слова: рожь, водорастворимые пентозаны, *Claviceps purpurea*, параметры склероциев.

Для цитирования: Кобылянский В. Д., Солодухина О.В. Развитие спорыньи на низкопентозановой диплоидной озимой ржи // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 73–78. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-73-78.



ERGOT DEVELOPMENT ON LOW-PENTOSAN DIPLOID WINTER RYE

V.D. Kobylansky, Doctor of Biological Sciences, professor, main researcher of the department of genetic resources of oats, rye, barley; osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-2193-8105;

O.V. Solodukhina, Doctor of Biological Sciences, docent, leading researcher of the department of genetics; osolodukhina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-3117-6693

All-Russian Institute of genetic resources of plants named after N.I. Vavilov, 190031, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya Str., 42/44; e-mail: secretary@vir.nw.ru

Ergot (*Claviceps purpurea* (Fr) Tul.) is a widespread rye disease. A strong development of the disease can reduce up to 60% of grain productivity and its quality. In the rye gene pool, there was found no samples with complete resistance to *Cl. purpurea*. Since 2016, six new winter rye varieties with a low content of water-soluble pentosans in grain have been approved for cultivation in Russia. It has been noticed that low-pentosan varieties are less affected by ergot. The harmful effect of the disease largely depends on the sclerotia parameters. The purpose of the current study was to characterize the development of ergot on the high-pentosan winter rye variety 'Era' and its low-pentosan analogue 'Novaya Era'. There was estimated the infestation of the varieties, the size and weight of the formed sclerotia. It was found that with the same infection level, the infestation of the variety 'Era' was 48.5%, and that of the variety 'Novaya Era' was 18.1%. On the heads of high-pentosan rye there were formed full-fledged sclerotia with 15.97–23.55 mm in length and 2.68–3.83 mm in width. On the heads of low-pentosan rye 'Novaya Era' the fungus formed underdeveloped sclerotia, the mass of which was 4–8 times less than on the variety 'Era'. The small size and weight of the horns facilitated their removal from the crop during threshing, and reduced rye grain infection with ergot. The frequency of low-pentosan plants occurring in the varietal population affects the infection rate of rye. The frequency of low-pentosan plants in the variety 'Era' is 43%, and in the variety 'Novaya Era' is 95%. The development of rye varieties characterized by a low content of water-soluble pentosans in grain is connected with breeding for resistance to *Cl. purpurea*.

Keywords: rye, water-soluble pentosans, *Claviceps purpurea*, sclerotia parameters.

Введение. Спорынья (*Claviceps purpurea* (Fr) Tul.) – широко распространенное заболевание ржи. Снижение урожайности зерна от болезни может достигать 60% и происходит в большин-

стве случаев за счет уменьшения числа зерен в колосе, массы зерна с колоса и массы 1000 зерен (Шешегова и Щеклеина, 2017). Наличие рожков в зерне ржи сильно снижает его посев-

ное и пищевое качество. Ядовитые вещества (алкалоиды), вырабатываемые грибом, способны вызывать у людей и животных смертельное заболевание эрготизм. Спектр алкалоидов и их количество может зависеть от географического происхождения склероциев и видовой принадлежности растений-хозяев (Шешегова и др., 2019; Pazoutova et al., 2000). Для определения качества зерна ржи, пригодного для хлебопекарной и комбикормовой промышленности, существуют ГОСТы. Согласно Российскому ГОСТу 16990-88 г., в зерне ржи «группы А» (для переработки в муку) допускается 0,25% весовой массы склероциев, а у «группы Б» (для использования на корм животным) – 0,5% склероциев (Шешегова и др., 2019). В странах Европейского Союза используются более жесточесные требования, предусматривающие засорение склероциями *Cl. purpurea*. Массы зерна ржи, используемого на пищевые цели не более 0,05%, а на кормовые цели – меньше 0,1% (Miedaner and Geiger, 2015).

На устойчивость ржи к спорынье влияют быстрота оплодотворения цветков, уровень пыльцевого режима и уровень иммунитета растений. Недостаточность пыльцевого режима у гибридных сортов ржи, созданных на основе ЦМС, способствуют увеличению их поражения возбудителем болезни (Miedaner and Geiger, 2015). По сравнению с этим популяционные ржи в меньшей степени, чем гибридные поражаются *Cl. purpurea*. Иммунологов и селекционеров давно интересуют вопросы поиска исходного материала для селекции на устойчивость к спорынье. Исследования показали, что среди генофонда *Secale cereale* L. не обнаружено полностью устойчивых к *Cl. purpurea* образцов (Хазиев и Пономарева, 2007).

К достижениям в области селекции ржи в последние годы (2004–2016) можно отнести создание низкопентозановых сортов. Водорастворимые пентозаны (арабино-ксиланы) относятся к 5-углеродным полимерам, содержание которых в зерне ржи в 3 раза больше, чем в зерне других зерновых культур. Избыточное их количество делает зерно ржи ограниченно пригодным для кормления сельскохозяйственных животных. Начиная с 2016 года, как результат совместных исследований сотрудников ВИР и ведущих селекционеров страны, впервые в мире создано и районировано шесть сортов озимой ржи с низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне для возделывания в различных регионах РФ (Кобылянский и др., 2017). Эти сорта пригодны для универсального использования в хлебопекарной, комбикормовой и перерабатывающей промышленности. Нами было замечено, что низкопентозановые сорта слабо поражаются спорыньей. Специальных исследований, изучающих связь признака низкопентозановости сортов с их устойчивостью к спорынье, в нашей стране и за рубежом не проводилось. Это послужило мотивацией для дальнейшего исследования и осмысления выявленного факта.

Обычно при поражении ржи спорыньей на колосьях растений вместо зерна можно обнаружить склероции, которые представляют собой компактную массу грибного мицелия. Осенью после созревания ржи склероции опадают на почву и остаются там до весны. В начале лета в период цветения ржи происходит заражение не успевших оплодотвориться цветков аскоспорами гриба, образовавшихся в плодовых телах, проросшего склероция. Споры прорастают на рыльце цветка, поражают основание завязи, разрушают ее, занимая место несостоявшейся зерновки. Используя поступающий в цветок питательный раствор, развивается грибница и образуется клейкая сладкая жидкость – «медвяная роса», в которой развиваются конидиоспоры гриба. Насекомые, лакомясь сладкой «медвяной росой», переносят на своих лапках конидиоспоры и вторично заражают ими другие цветущие колосья растений, где впоследствии образуются новые склероции. По крупности и количеству образовавшихся склероциев можно оценивать их вредоносное влияние на урожайность и качество зерна.

Цель исследования – охарактеризовать развитие спорыньи на растениях высокопентозанового сорта озимой ржи Эра и его низкопентозанового аналога сорта Новая Эра.

Материалы и методы исследований.

Объектами исследований служили высокопентозановый сорт озимой ржи Эра и его низкопентозановый аналог сорт Новая Эра, созданные с нашим авторским участием. При создании Новой Эры были использованы «тонкопокровные» фракции зерна, отобранные из сорта Эра (Кобылянский и др., 2021). «Тонкопокровное» (стекловидно-подобное) зерно сорта Новая Эра содержит 0,5–0,7% водорастворимых пентозанов, а «толстопокровное» зерно у сорта Эра – 1,5–1,7%. Исследования показали, что по высоте растений, длине колоса, числу колосков в колосе, массе зерна с колоса, массе 1000 зерен и длине вегетационного периода сорт Новая Эра находится на уровне высокопентозанового стандарта (Аниськов и др., 2015). Различия сортов состоит только в уровне содержания водорастворимых пентозанов в зерне, который обусловлен толщиной покровов их зерновок. Частота низкопентозановых зерен (растений) в сорте Эра составляет 43, а в сорте Новая Эра – 95%.

Изучение проводили в 2019–2020 гг. Посев озимой ржи проведен на полях научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лабораторий ВИР» в сроки, рекомендованные технологией выращивания. Каждая делянка площадью 20 м² состояла из двух продольных полос по 10 м², высеванных параллельно на расстоянии 50 см друг от друга. Густота посева – 250 всхожих зерен на 1 м².

Для создания высокого уровня инфекционного фона использовали рекомендации Т.К. Шешеговой и Л.М. Шеклеиной (2019). В нашем эксперименте склероции спорыньи разных

размеров, собранные на производственных посевах озимой ржи в Ленинградской области, равномерно разбрасывали (по 200 штук на делянку) под предпосевное боронование за два дня до посева. В августе следующего года проводили оценку пораженности сортов по числу инфицированных растений в% на 1 м² посева. Перед уборкой собрали по 100 склероциев с колосьев сортов Эра и Новая Эра.

Определяли биометрические показатели склероциев – длину и толщину (диаметр). Замеры проводили при помощи штангенциркуля КАЛИБРОН ШЦ-I 0,125 0,1. Среднюю массу отдельного склероция определяли путем деления общей весовой массы рожков на их количество. Для статистической обработки экспериментальных данных использовали пакет прикладных программ Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение. Установлено, что при одинаковом уровне инфекционной нагрузки средняя пораженность болезнью растений высокопентозанового сорта Эра составляла 48,5, а низкопентозанового сорта Новая Эра 18,1%. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей. Так, в условиях Кировской области на искусственном инфекционном фоне поражение спорыньей высокопентозанового стандартного сорта Фаленская 4 составило 40%. Низкопентозановые сорта в этих условиях были поражены на 0-25% (Шеклеина и Шешегова, 2020). В нашем эксперименте склероции, сформированные на растениях высокопентозановой ржи Эра, по своим размерам условно, разделили на две фракции: крупные (3) и средней крупности (2) (рис. 1).

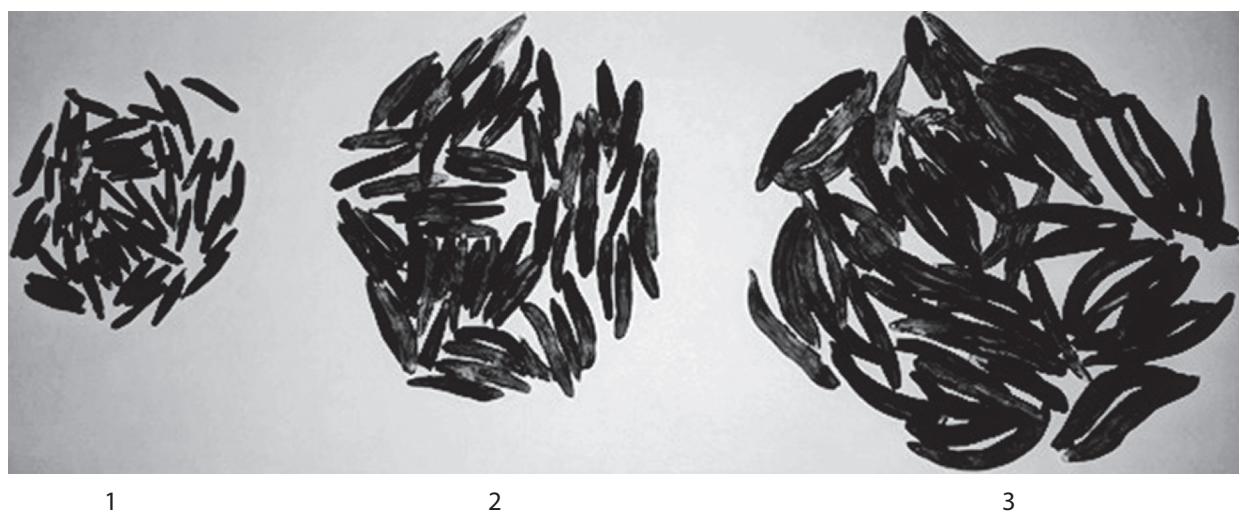


Рис. 1. Склероции гриба *Claviceps purpurea*, собранные с колосьев низкопентозанового сорта Новая Эра (1) и высокопентозановой ржи Эра (2 и 3).

Fig. 1. Sclerotia of the fungus *Claviceps purpurea*, collected from heads of the low-pentosan rye variety 'Novaya Era' (1) and the high-pentosan rye variety 'Era' (2 and 3)

Средняя длина рожков (склероциев) до 23,55 мм, а толщина – от 2,68 до 3,83 мм (см. на сорте Эра варьировала в пределах от 15,97 таблицу).

Биометрические показатели склероций возбудителя спорыньи, собранные с колосьев сортов ржи Эра и Новая Эра
Biometric indices of ergot pathogen sclerotia
collected from heads of the rye varieties 'Era' and 'Novaya Era'

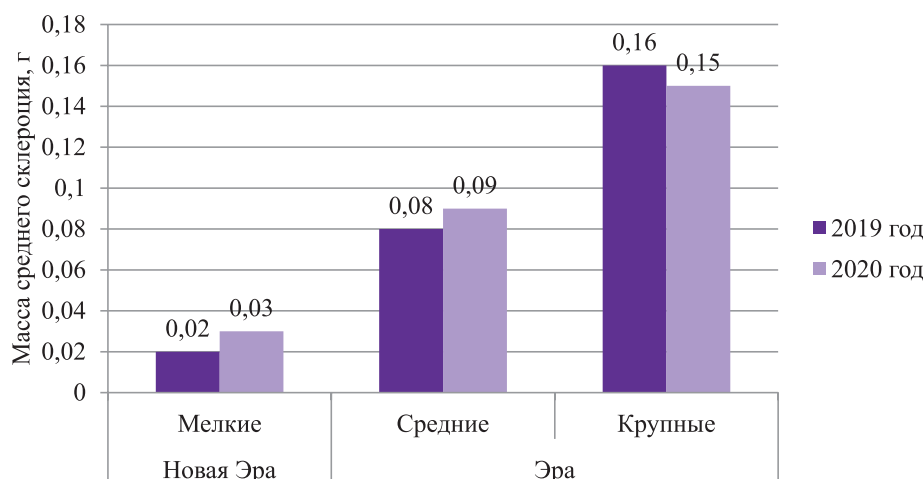
Сорт	Фракции склероциев	Показатели статистического анализа	Длина, мм		Толщина (диаметр), мм	
			годы			
			2019	2020	2019	2020
Эра	крупные	X±S (среднее ± отклонение)	23,55±3,08	21,82±3,77	3,83±0,91	3,26±1,16
		V (коэффициент вариации, %)	13	15	23	25
	средние	X±S (среднее ± отклонение)	15,97±2,36	16±2,84	2,68±0,37	3,08±0,54
		V (коэффициент вариации, %)	15	14	14	16
Новая Эра	мелкие	X±S (среднее ± отклонение)	10,43±2,91	11,37±2,93	1,77±0,36	1,93±0,52
		V (коэффициент вариации, %)	28	27	20	19

Было замечено, что рожки, принадлежащие к крупной фракции, формировались на колосьях главных стеблей высокопентозановых растений. В результате повторной

инокуляции растений склероции спорыньи появлялись позже и к концу вегетации растений имели меньшие, чем на главных колосьях размеры.

Совершенно необычное развитие патогена наблюдали при заражении ржи Новая Эра, характеризующейся низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне. На низкопентозановых растениях встречались только мелкие слабо развитые склероции, средний размер которых был почти в 2 раза, а масса – в 4–8 раз меньше, чем на сорте Эра (рис. 2).

Из-за своих малых размеров некоторые склероции не выходили за пределы цветковых чешуй колоса и были слабо заметными в посеве. На пораженных цветках мы обнаружили очень малое количество «медвяной росы», обеспечивающей вторичное заражение растений.



Примечание: мелкие склероции формировались на колосьях низкопентозановых растений сорта Новая Эра, содержащих 0,5–0,7% водорастворимых пентозанов в зерне; средние и крупные – на высокопентозановых растениях сорта Эра, содержащих 1,5–1,7% водорастворимых пентозанов в зерне.

Рис. 2. Масса склероций возбудителя спорыньи, сформировавшихся на растениях ржи с разным содержанием водорастворимых пентозанов в зерне

Fig. 2. The mass of ergot pathogen sclerotia formed on rye plants with different content of water-soluble pentosans in grain

При сравнении взаимоотношений между растением-хозяином и патогеном *Cl. purpurea* выявлено, что при поражении цветков высокопентозановой ржи растение-хозяин не «препятствует» развитию патогена. Кроме того было замечено, что в отдельных случаях под воздействием гриба питание пораженных цветков улучшалось, что способствовало развитию огромных рожков, в отдельных случаях достигающих в длину 5 см.

Исходя из того, что в цветок растений поступает то количество питательных веществ, которое необходимо для обеспечения потребности растущей зерновки, следует, что «толстопокровные» высокопентозановые зерновки получают больше питательных веществ, включая водорастворимые пентозаны, по сравнению с «тонкопкоровными» низкопентозановыми. Развитие спорыньи на низкопентозановой ржи приводит к угнетению развития склероциев, уменьшению продуцирования «медвяной росы» и снижению образования конидиоспор, приводящих к перезаражению новых колосов. В результате на такой ржи вырастают склероции патогена очень малых размеров и, предположительно, со сниженной жизнеспособностью или вовсе не способные формировать плодовые тела и производить аскоспоры. Все это объясняет большую величину склероциев, формирующихся на высокопентозановых

и значительно меньшую – на низкопентозановых растениях ржи.

Наблюдаемый факт образования очень малых рожков при поражении низкопентозановой ржи возбудителем *Cl. purpurea* гарантирует возможность получения урожая зерна, свободного от засорения склероциями гриба. Склероции, сформировавшиеся на такой ржи, по своим параметрам меньше отверстий стандартных решет (20мм × 2мм), используемых для очистки семян от мелких и щуплых зерен, что позволяет избавиться от присутствия мелких рожков спорыньи в массе зерна сорта.

Выводы. Установлено, что при одинаковом уровне инфекционной нагрузки *Claviceps purpurea* пораженность растений высокопентозанового сорта Эра составляет 48,5%, а его низкопентозанового аналога Новая Эра – 18,1%. На главных колосьях ржи Эра формируются полноценные склероции гриба, а на Новой Эре – слабо развитые со сниженной жизнеспособностью. Размеры склероциев на растениях Новая Эра приблизительно в 2 раза, а их масса – в 4–8 раз меньше, чем на сорте Эра. Меньшие размер и масса рожков, формирующихся на низкопентозановой ржи, обуславливают меньшую засоренность зерна спорыньей и делают возможным получение урожая, свободного от засорения склероциями гриба. На степень устойчивости ржи к болезни влияет

частота низкопентозановых растений, встречающихся в сортовой популяции. Величина этого показателя в популяции каждого сорта слабо меняется в зависимости от условий возделывания и является константным признаком, характеризующим структуру конкретной сортовой популяции ржи. Все низкопентозановые сорта на 90% и более имеют тонкопокровное (стекловидно подобное) зерно. Частота тонко-

покровных зерен в сорте Эра составляет 43, а Новая Эра – 95%. Создание сортов ржи, характеризующихся низким содержанием водорастворимых пентозанов в зерне, сопряжено с селекцией на устойчивость к спорынье.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР № 0662-2020-0006.

Библиографические ссылки

1. Аниськов Н.И., Кобылянский В.Д., Сафонова И. В. Агробиологическая характеристика первых сортов низкопентозановой озимой ржи селекции ВИР // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 1(12). С. 101–111. DOI: 10.12737/10608.
2. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Лунегова И.В., Новикова С.П., Хлопук М.С., Макаров В.И. Создание низкопентозановой ржи и возможности ее использования на корм животным // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017. Т. 178. Вып. 1. С. 31–40.
3. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В., Никонорова И.М. Морфологические особенности низкопентозанового зерна ржи // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. Вып. 2. С. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
4. Хазиев А.З., Пономарева М.Л. Ущерб от спорыньи на озимой ржи и меры его предупреждения // Вестник Казанского ГАУ. 2007. Т. 2. № 2(6). С. 80–82.
5. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М. Зависимость вредоносности спорыньи от биометрических показателей склероциев // Защита растений. 2017. № 11. С. 9–11.
6. Шешегова Т. Щеклеина Л. Спорынья зерновых культур. Монография. Издательство: LAP LAMDTRT Academic Publishing RU, 2019. 80 с.
7. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Желифонова В.П., Антипова Т.В., Баскунов Б.П., Козловский А.Г. Устойчивость сортов ржи к спорынье и содержание эргоалкалоидов в склероциях *Claviceps purpurea* в условиях Кировской области // Микология и фитопатология. 2019. Т. 53. № 3. С. 177–182. DOI: 10.1134/S0026364819030127.
8. Щеклеина Л.М., Шешегова Т.К. Болезни *Secale cereale* L. в Кировской области и генетические источники устойчивости для селекции озимой ржи // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 86–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-86-92.
9. Miedaner T., Geiger H.H. Biology, genetics and management of ergot (*Claviceps* spp) in rye, sorghum and pearl mille // Toxins. 2015. V. 7. P. 659–778. DOI: 10.3390/toxins7030659.
10. Pazoutova S., Olsovska J., Linka M., Kolinska R., Flieger M. Chemoraces and habitat specialization of *Claviceps purpurea* populations // Appl. Environ. Microbiol. 2000. V. 66. № 12. P. 5419–5425. DOI: 10.1128/AEM.66.12.5419-5425.2000.

References

1. Anis'kov N.I., Kobylyanskij V.D., Safonova I. V. Agrobiologicheskaya harakteristika pervykh sortov nizkopentozanovoj ozimoy rzhi selekcii VIR [Agrobiological characteristics of the first low-pentosan winter rye varieties developed by the] // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. T. 3. № 1(12). S. 101–111. DOI: 10.12737/10608.
2. Kobylyanskij V.D., Soloduhina O.V., Lunegova I.V., Novikova S.P., Hlopyuk M.S., Makarov V.I. Sozdanie nizkopentozanovoj rzhi i vozmozhnosti ee ispol'zovaniya na korm zhivotnym [Development of low-pentosan rye and the possibility of its use for animal feed] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2017. T. 178. Vyp. 1. S. 31–40.
3. Kobylyanskij V.D., Soloduhina O.V., Nikonorova I.M. Morfologicheskie osobennosti nizkopentozanovogo zerna rzhi [Morphological features of low-pentosan rye grain] // Trudy po prikladnoj botanike, genetike i selekcii. 2021. T. 182. Vyp. 2. S. 123–130. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-123-130.
4. Haziev A.Z., Ponomareva M.L. Ushcherb ot sporyn'i na ozimoy rzhi i mery ego preduprezhdeniya [Damage from ergot in winter rye and measures to prevent it] // Vestnik Kazanskogo GAU. 2007. T. 2. № 2(6). S. 80–82.
5. SHeshegova T.K., SHCHekleina L.M. Zavisimost' vredonosnosti sporyn'i ot biometricheskikh pokazatelej sklerocijev [Dependence of ergot harmfulness on the biometric indicators of sclerotia] // Zashchita rastenij. 2017. № 11. S. 9–11.
6. SHeshegova T. SHCHekleina L. Sporyn'ya zernovykh kul'tur [Ergot on grain crops]. Monografiya. Izdatel'stvo: LAP LAMDTRT Academic Publishing RU, 2019. 80 s.
7. SHeshegova T.K., SHCHekleina L.M., ZHelifonova V.P., Antipova T.V., Baskunov B.P., Kozlovskij A.G. Ustojchivost' sortov rzhi k sporyn'e i soderzhanie ergoalkaloidov v sklerociyah *Claviceps purpurea* v usloviyah Kirovskoj oblasti [Resistance of rye varieties to ergot and ergot alkaloids content in the sclerotia *Claviceps purpurea* in the Kirov region] // Mikologiya i fitopatologiya. 2019. T. 53. № 3. S. 177–182. DOI: 10.1134/S0026364819030127.
8. SHCHekleina L.M., SHeshegova T.K. Bolezni *Secale cereale* L. v Kirovskoj oblasti i geneticheskie istochniki ustojchivosti dlya selekcii ozimoy rzhi [Diseases *Secale cereale* L. in the Kirov region and genetic sources of resistance for winter rye breeding] // Vestnik KrasGAU. 2020. № 6. S. 86–92. DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-86-92.
9. Miedaner T., Geiger H.H. Biology, genetics and management of ergot (*Claviceps* spp) in rye, sorghum and pearl mille // Toxins. 2015. V. 7. P. 659–778. DOI: 10.3390/toxins7030659.

10. Pazoutova S., Olsovska J., Linka M., Kolinska R., Flieger M. Chemoraces and habitat specialization of *Claviceps purpurea* populations // Appl. Environ. Microbial. 2000. V. 66. № 12. P. 5419–5425. DOI: 10.1128/AEM.66.12.5419-5425.2000.

Поступила: 10.03.21; принята к публикации: 6.07.21.

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. Кобылянский В.Д., Солодухина О.В. – концептуализация исследования, подготовка опыта, выполнение полевых и лабораторных опытов, сбор данных и их интерпретация, подготовка рукописи к печати.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

АГРОХИМИЯ

УДК 633.16:631.82(470.61)

DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-79-85

**УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ-ДВУРУЧКИ СОРТА МАРУСЯ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
И РЕТАРДАНТА МОДДУС В ЮЖНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

А.С. Попов¹, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом технологии возделывания зерновых и пропашных культур, ORCID ID: 0000-0001-6593-1138;
Г.В. Овсянникова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых культур, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;
А.А. Сухарев¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории технологии возделывания зерновых культур, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;
Е.Г. Филиппов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий отделом селекции и семеноводства ячменя, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;
О.С. Лесных², аспирант Дон ГАУ, ORCID ID: 0000-0003-4879-2644
¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347730, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru;
²ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 346493, Ростовская область, Октябрьский район, пос. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24; e-mail: dongau@mail.ru

Исследования проводили в южной зоне Ростовской области в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в течение 2018–2020 гг. Целью исследований было изучение совместного влияния минеральных удобрений и обработок ретардантом Моддус на продуктивность ячменя сорта Маруся.

В ходе исследований отмечена высокая отзывчивость ячменя-двуручки сорта Маруся на внесение минеральных удобрений. На вариантах без внесения удобрений урожайность составила 3,46–3,59 т/га, а с внесением удобрений урожайность увеличивалась на 0,87–1,57 т/га. Максимальная урожайность и сбор белка отмечены в вариантах с внесением $N_{79}P_{82}K_{57}$ по действующему веществу – 5,81 и 0,55 т/га соответственно. Обработка растений препаратом Моддус способствовала увеличению урожайности на 0,13–0,22 т/га в среднем за годы исследований. Под действием препарата Моддус количество продуктивных колосов увеличивалось на 5–19 шт./м², наблюдалась тенденция к увеличению числа зёрен в колосе и массы зерна с колоса. Ретардант Моддус способствовал уменьшению высоты растений в среднем на 3,6–5,6 см, одновременно наблюдалась тенденция к увеличению длины колоса на 0,2–0,5 см в сравнении с контрольным вариантом. Минеральные удобрения эффективно повышали натурную массу зерна ячменя-двуручки сорта Маруся. В варианте без внесения удобрений натурная масса зерна составила 579 и 584 г/л, а под воздействием туков возрастала на 16–27 г/л, или на 2,7–4,6%. В результате увеличения урожайности в варианте с обработками препаратом Моддус показатель условного чистого дохода превышал контрольный вариант на 745–1884 руб./га.

Ключевые слова: ячмень-двуручка, сорт Маруся, минеральные удобрения, ретардант Моддус, урожайность, экономическая эффективность.

Для цитирования: Попов А.С., Овсянникова Г.В., Сухарев А.А., Филиппов Е.Г., Лесных О.С. Урожайность ячменя-двуручки сорта Маруся в зависимости от внесения минеральных удобрений и ретарданта Моддус в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 79–85. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-79-85.

**PRODUCTIVITY OF THE FACULTATIVE BARLEY VARIETY 'MARUSYA'
DEPENDING ON THE USE OF MINERAL FERTILIZERS
AND THE GROWTH RETARDANT 'MODDUS' IN THE SOUTHERN PART
OF THE ROSTOV REGION**

A.S. Popov¹, Doctor of Agricultural Sciences, head of the department of cultivation technologies for grain and row crops, ORCID ID: 0000-0001-6593-1138;
G.V. Ovsyannikova¹, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for cultivation technology of grain crop, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;
A.A. Sukharev¹, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for cultivation technology of grain crop, ORCID ID: 0000-0002-4172-0878;
E.G. Filippov¹, Candidate of Agricultural Sciences, docent, head of the department of barley breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-5916-3926;
O.S. Lesnykh², post-graduate of the DonSAU, ORCID ID: 0000-0003-4879-2644
¹Agricultural Research Center "Donskoy", 347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; email: vniizk30@mail.ru;
²Donskoy State Agricultural University, 346493, Rostov region, Oktyabrsky district, v. Persianovsky, Krivoshlykov Str., 24, e-mail: dongau@mail.ru

The current study was carried out in the southern part of the Rostov region at the FSBSI "Agricultural Research Center "Donskoy" in 2018–2020. The purpose of the study was to investigate the combined effect of mineral fertilizers and treatments with the growth retardant 'Moddus' on productivity of the barley variety 'Marusya'. In the course of the study, there was identified high responsiveness of the facultative barley variety 'Marusya' to the use of mineral fertilizers. Without fertilization, the productivity was 3.46–3.59 t/ha, and 0.87–1.57 t/ha when using the fertilizers. The maximum productivity and protein percentage were established in the variants with the introduction of $N_{79}P_{82}K_{57}$ according to the active ingredient, with 5.81 t/ha and 0.55 t/ha, respectively. The treatment of plants with the growth retardant 'Moddus' contributed to productivity increase on 0.13–0.22 t/ha on average over the years of study. Under the effect of the growth retardant 'Moddus', the number of productive heads increased on 5–19 pieces/m², there was also a tendency to an increase in the number of grains per head and grain weight per head. The growth retardant 'Moddus' contributed to a decrease in plant height on 3.6–5.6 cm, at the same time there was a tendency to increase length of head on 0.2–0.5 cm in comparison with the control variant. Mineral fertilizers effectively increased nature weight of the facultative barley variety 'Marusya'. Without fertilization, nature weight of grain was 579 g/l and 584 g/l, and when using fertilizers, it increased on 16–27 g/l or 2.7–4.6%. Productivity increase in the variant when treating with the growth retardant 'Moddus' resulted in an increase of the indicator of conditional net income over the control variant on 745–1884 rubles/ha.

Keywords: facultative barley, variety 'Marusya', mineral fertilizers, growth retardant 'Moddus', productivity, economic efficiency.

Введение. Ячмень является разносторонней сельскохозяйственной культурой, которая имеет важное продовольственное и кормовое значение (Nakala et al., 2020). Использование ячменя в различных отраслях народного хозяйства определяет его широкое распространение как в России, так и за рубежом (Алабушев и др., 2018), (Lovarelli et al., 2020).

Наиболее благоприятными по почвенно-климатическим условиям для возделывания ячменя являются Южный и Северо-Кавказский федеральные округа, где расположены 98,5% площадей, занятых этой культурой. Средняя урожайность в регионе варьирует от 2,44 до 4,48 т/га (Фирсова и др., 2018).

Колебания урожайности почти в два раза как правило вызваны недостаточным вниманием к технологии возделывания ячменя. Так как ячмень в севообороте располагают главным образом после пропашных культур, обедняющих почву питательными веществами, важным фактором увеличения его урожайности является внесение минеральных удобрений (Никитин и др., 2018; Singh et al., 2017). Особую важность приобретают азотные удобрения, которые даже в засушливых условиях способствуют прибавке урожайности на 14,6% и более (Горянин и др., 2020).

Однако при избыточном азотном питании (особенно во влажные годы) может наблюдаться полегание растений, которое вызывает нарушения в аттракции и транспортировке пластических веществ, и значительная их часть остаётся в солоmine, а не переходит в зерновку (Захарова и др., 2020).

Противостоять полеганию растений могут ретарданты – вещества, замедляющие рост соломины. Поэтому целью наших исследований было изучение совместного влияния внесения минеральных удобрений и обработок ретардантом Моддус на продуктивность ячменя-двуручки сорта Маруся.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2018–2020 гг. в севообороте лаборатории технологии возделывания зерновых культур ФГБНУ «АНЦ «Донской». Ячмень-двуручка сорта Маруся высевали осенью, в начале оптимальных календарных сроков

для южной зоны Ростовской области (20 сентября). Предшествующая культура – подсолнечник. Основное удобрение в дозе д.в. $P_{60}K_{40}$ вносили под обработку дисковыми орудиями.

Исследования выполняли в соответствии с методиками Б.А. Доспехова (2011), В.Ф. Моисейченко и др. (1996). Общая площадь делянки – 55, учётная площадь – 41,25 м², повторность – четырёхкратная, размещение делянок – систематическое. Расчёт доз вносимых удобрений проводили по методике Л.П. Бельтюкова (2002). Под основную обработку вносили аммофос и хлористый калий, азотные удобрения давали в виде подкормок весной (по таломерзлой почве, в фазу весеннего кущения, в фазу колошения).

В опыте использованы следующие варианты внесения удобрений:

1 вариант: Без внесения удобрений.

2 вариант: Внесение минеральных удобрений на запланированную урожайность (4,0 т/га) $N_{53}P_{55}K_{38}$;

3 вариант: Внесение минеральных удобрений на запланированную урожайность (5,0 т/га) $N_{66}P_{68}K_{48}$;

4 вариант: Внесение минеральных удобрений на запланированную урожайность (6,0 т/га) $N_{79}P_{82}K_{57}$.

Растения по всем вариантам внесения удобрений обрабатывали препаратом Моддус в дозе 0,2 л/га в начале выхода в трубку. На контрольном варианте растения ретардантом не обрабатывали.

Препарат Моддус содержит вещество тринексапак-этил, которое при применении весной в начале выхода зерновых в трубку способно блокировать синтез гиббереллина, который отвечает за рост и вытягивание клеток в длину, таким образом способствуя уменьшению общей высоты стебля. При этом препарат не влияет на формирование общей листовой поверхности и площадь фотосинтезирующей поверхности сохраняется. Величина сохранённого урожая формируется из уменьшения потерь при полегании, осыпании зерна, механическом усилении соломины или подколосового междоузлия, а также увеличением продуктивной кустистости.

Погодные условия во время вегетации растений во многом влияют на урожайность зерновых культур (Самофалова и др., 2019; Khokonova et al., 2019).

В осенний период 2017–2018 сельскохозяйственного года среднесуточная температура воздуха составила 11,3 °C (норма – 9,7 °C), а количество выпавших осадков – 119,7 мм (норма – 131,5 мм). За осенне-зимний период выпало 307,4 мм осадков, что на 30,2 мм превысило сумму осадков по сравнению со среднеголетним показателем (277,2 мм). Растения ячменя дали дружные всходы и были хорошо развиты перед уходом в зиму.

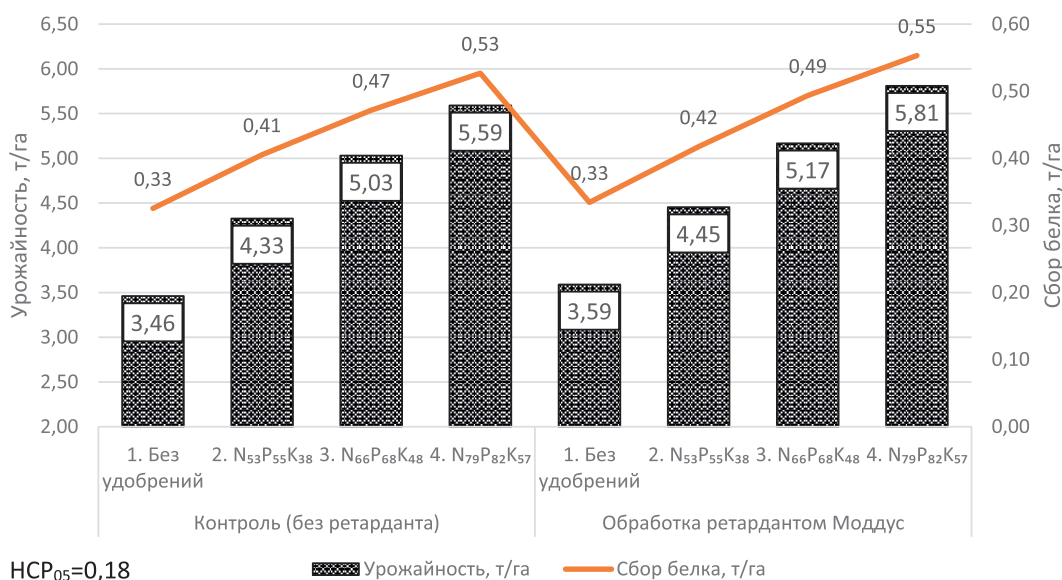
В сентябре 2018–2019 сельскохозяйственного года среднесуточная температура воздуха на 3,3 °C была выше среднеголетних значений (16,3 °C), а количество выпавших осадков составило всего 10,9 мм, что на 31,4 мм меньше нормы. Высокая температура и низкая влажность способствовали сильному иссушению почвы по непаровым предшественникам, всходы были получены лишь после выпавших в первой декаде октября осадков.

Осенний период 2019–2020 сельскохозяйственного года также был засушливым. Выпавшие во второй и третьей декадах сентября осадки (за месяц их количество составило 48,0 мм) способствовали увлажнению посевного слоя и получению всходов озимых

зерновых в первой декаде октября. Однако в октябре осадков выпало всего 19,4 мм (норма – 38,7 мм), а в ноябре еще меньше – 13,5 мм (норма – 50,5 мм). Всего за осень выпало 80,9 мм осадков (норма – 131,5 мм), или 62% от нормы. В сложившихся неблагоприятных гидротермических условиях полученные всходы озимых зерновых культур испытывали острый недостаток влаги по предшественнику подсолнечник.

Различия в погодных условиях позволили широко охарактеризовать эффективность внесения различных доз минеральных удобрений и действие ретарданта на растения ячменя сорта Маруся.

Результаты и их обсуждение. Сорт Маруся характеризуется положительной реакцией на применение минеральных удобрений. По предшественнику подсолнечник на контроле (без обработок препаратом Моддус) в варианте без внесения минеральных удобрений средняя урожайность сорта за три года (2018–2020 гг.) составила 3,46 т/га, а сбор белка в данном варианте – 0,33 т/га. При внесении расчетной дозы удобрений $N_{53}P_{55}K_{38}$ на запланированную урожайность 4,0 т/га (2 вариант) урожайность составила 4,33 т/га, что фактически приближается к расчетной и выше контрольного варианта на 0,87 т/га. Сбор белка с 1 га в этом варианте составил 0,41 т/га (см. рисунок).



Урожайность и сбор белка ячменя сорта Маруся в озимом посеве в зависимости от доз вносимых удобрений и обработок препаратом Моддус (2018–2020 гг.)

Productivity and protein percentage of the variety 'Marusya' sown in the winter, depending on the doses of fertilizers and treatments with the growth retardant 'Moddus' (2018–2020)

В 3 варианте расчетная доза $N_{66}P_{68}K_{48}$ на запланированную урожайность 5 т/га способствовала формированию урожайности на уровне 5,03 т/га, что выше чем на контрольном варианте на 1,57 т/га в среднем за годы исследований. Сбор белка в 3 варианте составил 0,47 т/га. Уровень запланированной урожайности 5,0 т/га также был достигнут.

При максимальной дозе внесения минеральных удобрений $N_{79}P_{82}K_{57}$ в 4 варианте опыта (на запланированную урожайность 6 т/га) урожайность превышала контрольный вариант на 2,13 т/га и составила 5,59 т/га. Сбор белка в данном варианте достигал 0,53 т/га, что на 60,6% превышает вариант, на котором удобрения не вносились. В данном варианте

опыта не была достигнута запланированная урожайность в 6,0 т/га, фактический уровень урожайности на 0,41 т/га (или 7,3%) уступал запланированному.

В варианте с обработкой растений препаратом Моддус урожайность также главным образом зависела от дозы вносимых удобрений, однако препарат способствовал увеличению урожайности на 0,13–0,22 т/га в среднем за годы исследований. Самая высокая урожайность в опыте была получена при обработке препаратом Моддус и максимальной дозе внесения удобрений $N_{79}P_{82}K_{57}$ (вариант 4, на запланированную урожайность 6,0 т/га) – 5,81 т/га. Запланированная урожайность также не была достигнута, однако фактическая урожайность уступала ей только на 0,19 т/га или на 3,2%.

Таким образом, применение препарата Моддус способствовало реализации запланированной урожайности ячменя.

Структурный анализ показал, что увеличение урожайности в варианте с обработкой растений ячменя препаратом Моддус было обеспечено за счёт увеличения числа продуктивных колосьев на 1 м², а также роста числа зёрен в колосе и массы зерна с одного колоса. Количество продуктивных стеблей на контрольном варианте (без обработок препаратом Моддус) составило 358–471 шт./м², а в варианте обработкой ретардантом – 363–488 шт./м². Под действием препарата Моддус количество продуктивных колосьев увеличивалось на 5–19 шт./м² (табл. 1).

1. Элементы структуры урожая ячменя сорта Маруся в зависимости от доз вносимых удобрений и обработок препаратом Моддус (2018–2020 гг.)

1. Yield structure elements of the barley variety 'Marusya' depending on the doses of fertilizers and treatments with the growth retardant 'Moddus' (2018–2020)

Вариант опыта	Количество продуктивных стеблей, шт./ м ²	Количество зёрен в колосе, шт.	Масса зерна с колоса, г	Высота растений, см	Длина колоса, см
Контроль (без обработок препаратом Моддус)					
1. Без удобрений	358	28,5	1,07	57,9	2,7
2. $N_{53}P_{55}K_{38}$	406	31,1	1,20	66,5	3,5
3. $N_{66}P_{68}K_{48}$	443	32,5	1,27	69,7	3,6
4. $N_{79}P_{82}K_{57}$	471	33,3	1,33	70,4	3,6
Обработка препаратом Моддус					
1. Без удобрений	363	28,9	1,09	54,3	2,5
2. $N_{53}P_{55}K_{38}$	415	30,8	1,21	62,4	3,3
3. $N_{66}P_{68}K_{48}$	462	32,2	1,26	64,1	3,5
4. $N_{79}P_{82}K_{57}$	486	34,0	1,34	65,0	3,5

Дозы вносимых удобрений положительно воздействовали на формирование продуктивного стеблестоя. В варианте 1 (без внесения удобрений) число продуктивных стеблей составило 358 и 363 шт./м². При внесении $N_{53}P_{55}K_{38}$ – число продуктивных стеблей увеличивалось на 48–52 шт./м², в дозе $N_{66}P_{68}K_{48}$ на 85–99 шт./м² и в дозе $N_{79}P_{82}K_{57}$ на 113–123 шт./м² в сравнении с вариантами без внесения удобрений. Под воздействием минеральных удобрений увеличивалась высота растений с 54,3–57,9 до 65,0–70,4 см и длина колоса с 2,5–2,7 до 3,4–3,7 см. Ретардант Моддус способствовал уменьшению высоты растений в среднем на 3,6–5,6 см, одновременно наблюдалась тенденция к увеличению длины колоса на 0,2–0,5 см в сравнении с контрольным вариантом.

Наблюдалась тенденция к увеличению числа зёрен в колосе и массы зерна с одного колоса при обработке препаратом Моддус. На контрольном варианте число зёрен в колосе составило 28,5–33,3 шт. при массе 1,07–1,33 г, а после обработки препаратом Моддус число зёрен в колосе возрастало до 28,9–34,0 шт., а масса зерна в колосе увеличивалась до 1,09–1,34 г в среднем за годы иссле-

дований. На число зёрен в колосе и массу зерна с колоса главным образом повлияли дозы вносимых удобрений. Под их воздействием число зёрен в колосе увеличивалось на 1,9–5,1 шт., а масса зерна с колоса на 0,12–0,26 г.

На контрольном варианте (без обработки препаратом Моддус) сбор белка с 1 га зависел только от урожайности сорта, так как внесение минеральных удобрений на содержание белка в зерне ячменя-двуручки сорта Маруся в озимом посеве влияния практически не оказывало. По всем вариантам внесения удобрений содержание белка в зерне составляло 9,4%. В вариантах, в которых растения были обработаны препаратом Моддус, роль минеральных удобрений в накоплении белка повышалась. В варианте 1 (без внесения удобрений) содержание белка в зерне ячменя составило 9,3% в среднем за годы исследований, а в вариантах с внесением удобрений на запланированную урожайность повышалось до 9,4–9,6%. Увеличение процентного содержания белка, а также рост урожайности способствовали увеличению общего сбора белка с 1 га на 0,01–0,03 т/га в сравнении с контрольным вариантом (на котором обработки препаратом Моддус не проводилось) (табл. 2).

2. Качественные показатели и масса 1000 зёрен ячменя сорта Маруся в озимом посеве в зависимости от доз вносимых минеральных удобрений и ретарданта Моддус (2018–2020 гг.)

2. Qualitative indicators and 1000-grain weight of the variety 'Marusya' sown in the winter, depending on the doses of fertilizers and treatments with the growth retardant 'Moddus' (2018–2020)

Вариант опыта	Масса 1000 зёрен, г	Натура, г/л	Белок, %
Контроль (без обработок препаратом Моддус)			
1. Без удобрений	41,2	579	9,4
2. $N_{53}P_{55}K_{38}$	42,2	598	9,4
3. $N_{66}P_{68}K_{48}$	42,4	602	9,4
4. $N_{79}P_{82}K_{57}$	42,7	606	9,4
Обработка препаратом Моддус			
1. Без удобрений	41,4	584	9,3
2. $N_{53}P_{55}K_{38}$	42,2	600	9,4
3. $N_{66}P_{68}K_{48}$	42,6	604	9,6
4. $N_{79}P_{82}K_{57}$	42,9	609	9,5

Минеральные удобрения эффективно повышали натурную массу зерна ячменя-двуручки сорта Маруся. В варианте 1 (без внесения удобрений) натурная масса зерна составила 579 и 584 г/л, а под воздействием доз вносимых удобрений возрастала на 16–27 г/л, или на 2,7–4,6%.

Масса 1000 зёрен также увеличивалась при внесении туков с 41,2 и 41,4 г до 42,7 и 42,9 г.

В среднем за годы исследований наблюдалась тенденция к увеличению натурной массы зерна и массы 1000 зёрен после обработок растений препаратом Моддус. В контрольном варианте натура зерна составила 579–606 г/л, а в варианте с обработкой препаратом

Моддус – 584–609 г/л, что на 2–5 г/л выше. Аналогично масса 1000 зёрен в контрольном варианте составила 41,2–42,7 г, а в варианте с обработкой препаратом Моддус – 41,4–42,9 г.

Сорт Маруся в озимом посеве на внесение минеральных удобрений реагировал увеличением урожайности, что положительно сказалось на экономической эффективности его производства. При внесении удобрений в контрольном варианте (без внесения препарата Моддус) рентабельность производства варьировала от 109,4 до 140,1%, тогда как в варианте 1 (без внесения удобрений) уровень рентабельности составил 78,8% в среднем за годы исследований (табл. 3).

3. Расчёт экономической эффективности возделывания ячменя-двуручки сорта Маруся в зависимости от доз вносимых минеральных удобрений и ретарданта Моддус (2018–2020 гг.)

3. Calculation of the economic efficiency of cultivation of the facultative barley variety 'Marusya', depending on the doses of fertilizers and treatments with the growth retardant 'Moddus' (2018–2020)

Вариант опыта	Затраты, руб./га	Урожайность, т/га	Валовой доход, руб./га	Условный чистый доход, руб./га	Себестоимость, руб./т	Рентабельность, %
Контроль (без обработок препаратом Моддус)						
1. Без удобрений	23615	3,46	42212	18597	6825	78,8
2. $N_{53}P_{55}K_{38}$	25210	4,33	52785	27575	5827	109,4
3. $N_{66}P_{68}K_{48}$	26805	5,03	61366	34561	5329	128,9
4. $N_{79}P_{82}K_{57}$	28400	5,59	68198	39798	5081	140,1
Обработка препаратом Моддус						
1. Без удобрений	24415	3,59	43798	19383	6801	79,4
2. $N_{53}P_{55}K_{38}$	26010	4,45	54331	28321	5841	108,9
3. $N_{66}P_{68}K_{48}$	27605	5,17	63033	35428	5343	128,3
4. $N_{79}P_{82}K_{57}$	29200	5,81	70882	41682	5026	142,7

Условный чистый доход в варианте 1 (без внесения удобрений) составил 18597 руб./га в среднем за 2018–2020 гг. Внесение удобрений в варианте 2 в дозе $N_{53}P_{55}K_{38}$ (на запланированную урожайность 4 т/га) увеличивало этот показатель на 8978 руб./га, при этом он составил 27575 руб./га. Дополнительные дозы удобрений в вариантах 3 и 4 также увеличивали

урожайность и, несмотря на рост затрат, способствовали увеличению условного чистого дохода до 39798 руб./га. При этом уменьшалась себестоимость зерна и увеличивалась рентабельность производства.

Обработка растений препаратом Моддус увеличивала затраты на производство, поэтому рентабельность в этом варианте проявила тен-

денцию к снижению. В варианте без внесения удобрений (вариант 1) рентабельность производства находилась на уровне 79,4%, а в вариантах с внесением удобрений в дозе $N_{53}P_{68}K_{48}$ и $N_{66}P_{68}K_{48}$ – 108,9–128,3%, что на 0,5–0,6% ниже, чем в варианте без обработки препаратом Моддус. Однако увеличение урожайности на 0,22 т/га в среднем за годы исследований в варианте 4 с внесением максимальной дозы удобрений $N_{79}P_{82}K_{57}$ (на запланированную урожайность 6,0 т/га) способствовало увеличению рентабельности на 2,6% в сравнении с контрольным вариантом (без обработок препаратом Моддус).

Несмотря на снижение рентабельности в варианте с обработками препаратом Моддус, за счёт роста урожайности показатель условного чистого дохода превышал контрольный вариант на 745–1884 руб./га.

Выводы

1. Минеральные удобрения способствовали увеличению урожайности ячменя сорта Маруся на 0,86–2,22 т/га. Максимальная урожайность получена в варианте 4 ($N_{79}P_{82}K_{57}$) –

5,59–5,81 т/га. Обработка растений препаратом Моддус способствовала увеличению урожайности на 0,13–0,22 т/га в среднем за годы исследований и реализации запланированной урожайности.

2. На число продуктивных стеблей главным образом влияли дозы вносимых туков, увеличивая число продуктивных стеблей на 48–123 шт./м² в сравнении с вариантами без внесения удобрений. Под воздействием препарата Моддус наблюдалось увеличение процентного содержания белка до 9,6%, что способствовало увеличению общего сбора белка с 1 га на 0,01–0,03 т/га в сравнении с контрольным вариантом.

3. В варианте без внесения удобрений натурная масса зерна составила 579 и 584 г/л, а в вариантах с внесением возрасала на 16–27 г/л, или на 2,7–4,6%.

4. За счёт увеличения урожайности в варианте с обработками препаратом Моддус показатель условного чистого дохода превышал контрольный вариант на 745–1884 руб./га.

Библиографические ссылки

1. Алабушев А.В., Попов А.С., Лысенко А.А., Яценко В.А. Урожайность и качество сортов озимого ячменя в Восточной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4(58). С. 21–24. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-21-24>.
2. Бельтюков Л.П. Сорт. Технология. Урожай. Ростов-н/Д.: ЗАО «Книга», 2002. 176 с.
3. Горянин О.И., Мадьякин Е.В., Пронович Л.В., Джангабаев Б.Ж., Яковлева Н.А. Технологии возделывания ярового ячменя в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 9. Т. 34. С. 42–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.
5. Захарова Н.Н., Захаров Н.Г., Гаранин М.Н. Высота растений озимой мягкой пшеницы в связи с её урожайностью и устойчивостью к полеганию в Лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. № 1(49). 2020. С. 51–59. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-1-51-59.
6. Моисейченко В.Ф., Трифонова В.Ф., Заверюха А.Х., Ещенко В.Е. Основы научных исследований в агрономии. М.: Колос, 1996. 336 с.
7. Никитин В.В., Соловichenko В.Д., Карабутов А.П. Влияние севооборота, способа обработки почвы и удобрений на продуктивность ячменя // Зерновое хозяйство России. 2018. № 4(58). С. 3–6. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-3-6>.
8. Самофалова Н.Е., Дубинина О.А., Самофалов А.П., Иличкина Н.П. Роль метеофакторов в формировании продуктивности озимой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2019. № 5(65). С. 18–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23.
9. Фирсова Т.И., Филенко Г.А., Донцова А.А. Анализ динамики посевных площадей и урожайности озимого ячменя в РФ // Зерновое хозяйство России. 2018. № 5(59). С. 53–57. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-59-5-53-57>.
10. Hakala K., Jauhiainen L., Rajala Ari A., Jalli M., Kujala M., Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future // Field Crops Research, Vol. 259, 15 December 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107956>.
11. Khokonova M., Adzhieva A. (2019). Photosynthetic activity of spring barley plants depending on moisture provision. Amazonia Investiga, 8(23), 96–100. <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/853>.
12. Lovarelli D., Garcia L.R., Sánchez-Girón V., Bacenetti J. Barley production in Spain and Italy: Environmental comparison between different cultivation practices // Science of The Total Environment. Vol. 707, 10 March 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135982>.
13. Singh Y.V., Parveen A., Singh S.K., Dey P. Soil Test Based Fertilizer Prescriptions under Integrated Plant Nutrient Management System for Barley in an Inceptisol of Eastern Plain Zone of Uttar Pradesh // Journal of the Indian Society of Soil Science. 2017, Volume: 65, Issue: 4. Page 423-427 DOI: 10.5958/0974-0228.2017.00049.4.

References

1. Alabushev A.V., Popov A.S., Lysenko A.A., YAcenko V.A. Urozhajnost' i kachestvo sortov ozimogo yachmenya v Vostochnoj zone Rostovskoj oblasti [Productivity and quality of winter barley varieties in the Eastern part of the Rostov region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 4(58). С. 21–24. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-21-24>.

2. Bel'tyukov L.P. Sort. Tekhnologiya. Urozhaj [Variety. Technology. Yield]. Rostov-n/D: ZAO «Kniga», 2002. 176 s.
3. Goryanin O.I., Madyakin E.V., Pronovich L.V., Dzhangabaev B.ZH., YAKovleva N.A. Tekhnologii vozdeystviya yarovogo yachmenya v zasushlivykh usloviyakh Povolzh'ya [Technologies of spring barley cultivation in arid conditions of the Volga region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. № 9. T. 34. S. 42-47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10908.
4. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of study results)]. M.: ID Al'yans, 2011. 352 s.
5. Zaharova N.N., Zaharov N.G., Garanin M.N. Vysota rasteniy ozimoy myagkoj pshenicy v svyazi s eyo urozhajnost'yu i ustojchivost'yu k poleganiyu v Lesostepi Srednego Povolzh'ya [Plant height of winter bread wheat in connection with its productivity and lodging resistance in the forest-steppe of the Middle Volga region] // Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skohozyajstvennoj akademii. № 1(49). 2020. S. 51–59. DOI: 10.18286/1816-4501-2020-1-51-59.
6. Moisejchenko V. F., Trifonova V. F., Zaveryuha A. H., Eshchenko V. E. Osnovy nauchnykh issledovaniy v agronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. M.: Kolos, 1996. 336 s.
7. Nikitin V.V., Solovichenko V.D., Karabutov A.P. Vliyanie sevooborota, sposoba obrabotki pochvy i udobrenij na produktivnost' yachmenya [The effect of crop rotation, tillage method and fertilizers on barley productivity] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 4(58). S. 3–6. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-58-4-3-6>.
8. Samofalova N.E., Dubinina O.A., Samofalov A.P., Ilichkina N.P. Rol' meteorofaktorov v formirovanii produktivnosti ozimoy tverdoj pshenicy [The role of weather factors in the formation of winter durum wheat productivity] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2019. № 5(65). S. 18–23. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-65-5-18-23.
9. Firsova T.I., Filenko G.A., Doncova A.A. Analiz dinamiki posevnykh ploshchadej i urozhajnosti ozimogo yachmenya v RF [Analysis of the dynamics of sown areas and winter barley productivity in the Russian Federation] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2018. № 5(59). S. 53–57. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-59-5-53-57>.
10. Hakala K., Jauhiainen L., Rajala Ari A., Jalli M., Kujala M., Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future // Field Crops Research, Vol. 259, 15 December 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107956>.
11. Khokonova M., Adzhieva A. (2019). Photosynthetic activity of spring barley plants depending on moisture provision. Amazonia Investiga, 8(23), 96–100. <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/853>.
12. Lovarelli D., Garcia L. R., Sánchez-Girón V., Bacenetti J. Barley production in Spain and Italy: Environmental comparison between different cultivation practices // Science of The Total Environment. Vol. 707, 10 March 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135982>.
13. Singh Y.V., Parveen A., Singh S.K., Dey P. Soil Test Based Fertilizer Prescriptions under Integrated Plant Nutrient Management System for Barley in an Inceptisol of Eastern Plain Zone of Uttar Pradesh // Journal of the Indian Society of Soil Science. 2017, Volume: 65, Issue: 4. Page 423–427 DOI: 10.5958/0974-0228.2017.00049.4.

Поступила: 23.03.21; принята к публикации: 15.06.21.

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. Попов А.С. – общее научное руководство, постановка цели и задач; Овсянникова Г.В., Филиппов Е.Г. – анализ литературных данных, формирование методологии исследования; Сухарев А.А. – анализ данных, написание текста статьи, Лесных О.С. – отбор растений для анализа, структурный анализ, промеры, подсчёты, заполнение таблиц.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ НОВОГО СОРТА ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ЗНАТНЫЙ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ РФ

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

О.В. Гладышева, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, ORCID ID: 0000-0002-4453-0367
Институт семеноводства и агротехнологий – филиал Федерального бюджетного
научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
390502, Рязанская обл., с. Подвьязь, ул. Парковая, 1; e-mail: podvyaze@bk.ru

Увеличение посевных площадей ярового ячменя требует детального изучения взаимодействия агрономических и климатических факторов, а также подбора современного набора новых сортов. Применение минеральных удобрений – один из важнейших приемов повышения продуктивности зерновых культур и поддержания бездефицитного баланса элементов минерального питания в пахотных почвах. Изучение эффективного использования различных доз минеральных удобрений (NPK) на посевах нового сорта ярового ячменя Знатный проводили в 2018–2020 гг. в условиях Института семеноводства и агротехнологий – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве. Установлено, что дата наступления фенологических фаз и продолжительность межфазных периодов не зависели от норм удобрений, но имели тесную связь с погодными условиями ($r = +0,68$). Анализ полученных данных показывает, что с увеличением норм вносимых удобрений увеличивается и надземная биомасса, которая, в свою очередь, отрицательно сказывается на урожайности ячменя сорта Знатный ($r = -0,77$). Анализ структуры урожайности, норм удобрений NPK говорит о том, что в опыте на урожайность ярового ячменя повлияла масса 1000 зерен ($r = +0,60$). Выявлена высокая обратная связь между урожайностью и длиной колоса ($r = -0,85$). Длина колоса изменялась от 7,5 до 8,4 см, при этом масса зерна с колоса оставалась по всем вариантам на одном уровне (1,1–1,2 г). Это говорит о том, что при норме $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ у Знатного формируется не очень плотный колос. Содержание белка при этих нормах тоже резко падает. Согласно полученным данным, увеличение доз вносимых удобрений ($N_{90}P_{90}K_{90}$ – $N_{120}P_{120}K_{120}$) отразилось на усилении развития большинства листовых болезней и снижении устойчивости к полеганию. Таким образом, оптимальной дозой внесения минеральных удобрений азофоска на темно-серой лесной почве является норма $N_{45}P_{45}K_{45}$, так как в этом варианте были получены максимальная урожайность и условный чистый доход. При увеличении рекомендуемых норм минеральных удобрений рентабельность возделывания культуры резко падает.

Ключевые слова: яровой ячмень, сорт, удобрения, урожайность, качество, рентабельность.

Для цитирования: Левакова О.В., Гладышева О.В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность нового сорта ярового ячменя Знатный в Нечерноземной зоне РФ //Зерновое хозяйство России. 2021. № 4(76). С. 86–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-86-90.



THE EFFECT OF MINERAL FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY OF THE NEW SPRING BARLEY VARIETY 'ZNATNY' IN THE NON-BLACK EARTH PART OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

O.V. Gladysheva, Candidate of Agricultural Sciences, director, ORCID ID: 0000-0002-4453-0367
Institute of Seed production and Agrotechnologies, Branch of the Federal Budgetary Scientific Institution
"Federal Research Agro-Engineering Center VIM",
390502, Ryazan Region, Ryazan district, v. of Podvyaze, Parkovaya Str., 1; e-mail: podvyaze@bk.ru

An increase in spring barley acreage requires a detailed study of the interaction of agronomic and climatic factors, as well as the selection of a modern set of new varieties. The use of mineral fertilizers is one of the most important methods to improve the productivity of grain crops and maintain a deficit-free balance of mineral nutrients in arable soils. The current study of the effective use of various doses of mineral fertilizers (NPK) on the new spring barley variety 'Znatny' was carried out on dark-gray forest heavy loamy soil in 2018–2020 by the Institute of Seed production and Agrotechnologies, a branch of the Federal Budgetary Scientific Institution "Federal Research Agro-Engineering Center VIM". There has been established that the date of the phenological phases and the length of interphase periods did not depend on fertilizer rates, but had a close correlation with weather conditions ($r = +0,68$). The analysis of the obtained data has shown that an increase in the rates of applied fertilizers increases the aboveground biomass, which, in turn, negatively affects productivity of the barley variety 'Znatny' ($r = -0,77$). The analysis of the yield structure and rates of fertilizers NPK has shown that in the trial, the spring barley productivity was influenced by 1000-grain weight ($r = +0,60$). There was found a high inverse correlation between productivity and length of head ($r = -0,85$). When length of head ranged from 7.5 to 8.4 cm, grain weight per head remained practically at the same level in all variants (1.1–1.2). This indicated that at a rate of $N_{90}P_{90}K_{90}$ and $N_{120}P_{120}K_{120}$, the variety 'Znatny' formed a not very dense head. Protein percentage at these rates also greatly reduced. According to the obtained data, an increase in the doses of applied fertilizers ($N_{90}P_{90}K_{90}$ – $N_{120}P_{120}K_{120}$) resulted in the intensified development of most leaf diseases and a decrease

in lodging resistance. Thus, the optimal dose of application of azophoska fertilizer on dark-gray forest soil is the norm $N_{45}P_{45}K_{45}$, since on this option there was obtained maximum productivity and net income. the increase in the recommended norms of mineral fertilizers, sharply reduces profitability of crop cultivation.

Keywords: spring barley, variety, fertilizers, productivity, quality, profitability.

Введение. Яровой ячмень в производстве зерна Российской Федерации имеет важное значение. В последнее время регулярно появляются новые сорта ячменя, на продуктивность которых значительное влияние оказывают технологии возделывания, отличающиеся уровнем применения минеральных удобрений (Левакова, 2021; Рыбась, 2016). Многолетний научный опыт и практика земледелия свидетельствуют о том, что получение высоких и устойчивых урожаев зерновых культур связано не только с селекцией растений, созданием и внедрением в сельскохозяйственное производство новых высокопродуктивных сортов, но и эффективным применением минеральных удобрений (Курылев, 2018; Магомедов и др., 2017; Мельник и Фомочкина, 2014). Так как яровой ячмень имеет короткий период вегетации, слабую корневую систему, отличается высокой требовательностью к элементам питания, внесение минеральных удобрений – необходимое условие получения высоких урожаев хорошего качества.

Необходимо учитывать и то условие, что отечественные сельхозпроизводители на первый план выдвигают экономическую целесообразность агротехнологий: ориентир не на рекордные урожаи любой ценой при больших дозах использования средств удобрений, а на доход, который будет получен с гектара сельскохозяйственных угодий.

Поэтому главными элементами технологии возделывания ярового ячменя, являются выбор оптимальных доз удобрений, норм и сроков посева, а также сорта, обладающего максимальными адаптационными способностями к условиям выращивания. Также необходимо иметь в виду, что эффективность использования минеральных удобрений во многом зависит от почвенно-климатических условий зоны, агрохимических показателей и гранулометрического состава почвы (Смуров и др., 2020).

Реакция различных сортов ячменя к уровням интенсификации технологий возделывания весьма актуальна на современном этапе сельскохозяйственного производства.

Цель исследований – изучение эффективного использования различных доз минеральных удобрений (NPK) на посевах нового сорта ярового ячменя Знатный в условиях Рязанской области.

Материалы и методы исследований. Изучение влияния доз минеральных удобрений (NPK) проводили в 2018–2020 гг. в условиях Института семеноводства и агротехнологий – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» на темно-серой лесной тяжелосуглинистой по гранулометрическому составу почве. Агрохимические показатели почвы следу-

ющие: содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 3,2%, нитратный азот (ГОСТ 26951-86) – 15,7 мг/кг, аммонийный азот (ГОСТ 26489-85) – 2,75 мг/кг, pH солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85) – 5,46 ед.; подвижного фосфора (ГОСТ Р 54650-2011) – 248 мг/кг, подвижного калия (ГОСТ Р 54650-2011) – 164 мг/кг, обменного магния (ГОСТ 26487-85) – 1,70 мг-экв/100 г почвы.

Объектом исследований является новый сорт ярового ячменя Знатный, включенный в Государственный реестр по Центральному (3) региону в 2020 году. Сочетание высокой урожайности, устойчивости к стрессам и высокого качества зерна является определяющим в коммерческом использовании этого сорта (Левакова и Ерошенко, 2020).

Яровой ячмень высевали в селекционном севообороте по предшественнику черный пар. Учетная площадь делянки – 12 м², повторность – четырехкратная. Норма высева – 5,0 млн/га всхожих семян. Агротехника – общепринятая для данной культуры. В опытах использовали комплексное удобрение азофоска (N:P:K-16:16:16). Схема опыта предусматривала следующие варианты: 1 – контроль ($N_{16}P_{16}K_{16}$), 2 – $N_{30}P_{30}K_{30}$, 3 – $N_{45}P_{45}K_{45}$, 4 – $N_{60}P_{60}K_{60}$, 5 – $N_{90}P_{90}K_{90}$, 6 – $N_{120}P_{120}K_{120}$ д.в.. Внесение удобрений проводили весной под предпосевную культивацию.

Учеты и наблюдения проводили по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Статистическая обработка экспериментальных данных методом дисперсионного и корреляционного анализа, а также наименьшая существенная разница в опыте ($HCP_{0,05}$), проведена по методике Б.А. Доспехова (2012) с использованием компьютерной программы Microsoft Office Excel.

Для характеристики возможных вариаций погодных условий и их влияния на продуктивность зерна, рассчитывали гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову. Метеорологические условия лет исследований отличались друг от друга и от средней многолетней величины.

Вегетационный период 2018 года в целом характеризовался неблагоприятными условиями для развития яровых культур. За вегетацию осадков выпало 109 мм, или 53,1% от среднемноголетних значений. Июнь был теплым с критическим дефицитом влаги, ГТК составил 0,17. В связи с засушливыми условиями года отмечалось ускоренное прохождения фаз у растений. Среднемесячная температура составила 20,3 °С, что на 2,7 °С выше среднемноголетних значений. Сумма активных температур составила 1944 °С, ГТК – 0,59.

Вегетационный период 2019 года характеризовался неблагоприятными условиями для развития испытываемой культуры. Летняя засуха проявлялась в I и II декадах июня, ГТК

составил 0 и 0,14, соответственно, а среднемесячная температура воздуха в это время была на 3,2-6,0 °C выше среднесезонных значений. В связи с этим, фаза выхода в трубку и фаза колошения растений проходили в экстремальных условиях. Основная масса атмосферных осадков (29 мм) выпала в конце III декады месяца. Сумма активных температур составила 2187 °C, ГТК – 0,73.

Метеоусловия 2020 года отличались сильной вариабельностью, растения развивались в условиях обильных осадков, с резкими колебаниями среднесуточных температур. Неблагоприятно повлияли выпавшие в 1 декаде июня (ГТК = 3,9) осадки, которые спровоцировали раннее прикорневое полегание растений ячменя еще до наступления фазы колошения. Сумма активных температур составила 1912 °C, ГТК – 1,34.

Учет урожайности зерна проводили методом сплошного обмолота комбайном SAMPO-130. Зерно приводили к 14% влажности и 100% физической чистоте. Качество основных параметров цельного зерна ярового ячменя определяли на анализаторе зерна Infratec 1241.

Результаты и их обсуждение. За годы опытов можно отметить определенную закономерность формирования урожайности зерна сорта Знатный в зависимости от доз минеральных удобрений. В контроле ($N_{16}P_{16}K_{16}$) она составила 5,59 т/га и колебалась в диапазоне от 4,83 т/га ($N_{120}P_{120}K_{120}$) до 5,85 т/га ($N_{45}P_{45}K_{45}$) (табл. 1).

Полученные данные урожайности показали, что применение минерального удобрения азофоска в дозе более $N_{16}P_{16}K_{16}$ (контрольный вариант) не приводило к достоверному превышению урожайности во все годы исследований.

1. Влияние доз минеральных удобрений на продуктивность ярового ячменя сорта Знатный (среднее за 2018–2020 гг.)

1. Influence of doses of mineral fertilizers on productivity of the spring barley variety 'Znatny' (average in 2018–2020)

№ варианта	Урожайность по годам, т/га				Надземная биомасса, т/га	Высота, см	Белок, %	Крахмал, %
	2018	2019	2020	среднее				
Контроль ($N_{16}P_{16}K_{16}$)	5,46	6,56	4,75	5,59	5,4	79	12,4	54,9
$N_{30}P_{30}K_{30}$	5,64	6,61	4,25	5,50	5,5	79	12,6	54,4
$N_{45}P_{45}K_{45}$	5,76	6,95	4,85	5,85	6,2	79	12,7	52,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,68	6,67	4,05	5,47	5,7	83	13,4	50,1
$N_{90}P_{90}K_{90}$	5,32	6,32	4,25	5,29	7,1	80	11,8	63,0
$N_{120}P_{120}K_{120}$	4,98	5,90	3,60	4,83	7,8	83	11,8	69,5
Среднее	5,47	6,50	4,29	5,42	6,3	81	12,5	57,3
НСР _{0,05}	0,36	0,44	0,32	–	–	–	–	–
Коррелируемые с урожайностью признаки, r					-0,77	-0,60	+0,58	+0,88

В формировании урожайности и его качества большая роль принадлежит листовому аппарату. Увеличение доз минеральных удобрений способствовало значительному увеличению площади листовой поверхности ячменя. Так, в фазу кушения площадь листовой поверхности одного растения находилась в пределах от 10,3 ($N_{16}P_{16}K_{16}$) до 11,6 см²/раст ($N_{120}P_{120}K_{120}$). Такая же тенденция прослеживается и в фазу выхода в трубку – от 22,2 до 23,9 см²/раст соответственно. Наибольшая площадь листовой поверхности одного растения была в фазу колошения (46,2–47,28 см²/раст), достигая максимального значения при норме удобрений от $N_{90}P_{90}K_{90}$ до $N_{120}P_{120}K_{120}$ соответственно. Согласно полученным данным, увеличение доз вносимых удобрений ($N_{90}P_{90}K_{90}$ – $N_{120}P_{120}K_{120}$) оказывало сильное влияние на рост и развитие растений ярового ячменя, которые проявились в увеличении вегетативной массы растений, густоты и высоты продуктивного стеблестоя, за счет чего изменялись микроклиматические условия посева. Это, в свою очередь, отразилось на усилении развития большинства листовых болезней и сниже-

ни устойчивости к полеганию на 0,5–1,0 баллов. Особенно сильно данная тенденция проявилась в условиях 2020 года, когда обильные осадки в 1 декаде июня (ГТК = 3,9) спровоцировали раннее прикорневое полегание растений еще до наступления фазы колошения. Таким образом, анализ полученных данных показывает, что с увеличением норм вносимых удобрений увеличивается и надземная биомасса, которая, в свою очередь, отрицательно сказывается на урожайности ячменя сорта Знатный ($r = -0,77$).

Дата наступления фенологических фаз и продолжительность межфазных периодов не зависела от норм удобрений, но имела тесную связь с погодными условиями ($r = +0,68$).

Анализ структуры урожайности на различных дозах удобрений НРК указывает на то, что в опыте на урожайность ярового ячменя повлияла масса 1000 зерен ($r = +0,60$). Высокая обратная связь отмечена между урожайностью и длиной колоса ($r = -0,85$).

Следует отметить, что при колебании длины колоса от 7,5 до 8,4 см масса зерна с колоса оставалась по всем вариантам практически

на одном уровне 1,1–1,2 г (табл. 2). Таким образом, при норме $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ у сорта Знатный формируется не очень плотный колос. Содержание белка при этих нормах резко па-

дает. Установлено, что дозой удобрения на темно-серой почве, достаточной для накопления белка, является $N_{60}P_{60}K_{60}$ при максимальном содержании белка из вариантов опыта – 13,4%.

2. Структурный анализ при различных дозах удобрений ярового ячменя сорта Знатный (2018–2020 гг.)

2. Structural analysis at different doses of fertilizers of the spring barley variety 'Znatny' (2018–2020)

№ варианта	Число растений, шт/м ²	Продуктивная кустистость, шт.	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерен с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Контроль ($N_{16}P_{16}K_{16}$)	239	3,0	7,5	24,5	1,2	49,0
$N_{30}P_{30}K_{30}$	305	2,7	7,6	23,1	1,1	51,0
$N_{45}P_{45}K_{45}$	256	2,8	7,5	22,8	1,2	51,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$	279	2,8	7,4	23,6	1,1	51,8
$N_{90}P_{90}K_{90}$	249	3,6	8,2	23,4	1,1	51,5
$N_{120}P_{120}K_{120}$	259	2,9	8,4	24,1	1,2	47,8
Среднее	264,5	3,0	7,8	23,6	1,15	50,4
Коррелируемые с урожайностью показатели, г						
-0,83	-0,25	-0,15	-0,85	-0,46	+0,10	+0,60

В последние годы, в связи со сложными экономическими условиями, на первое место при оценке эффективности удобрений выходит окупаемость затрат на их применение (Гурин и Котова, 2020). Расчет экономической эффективности показал, что максимальная выручка от продажи товарного зерна ячменя получена в варианте с внесением нормы $N_{45}P_{45}K_{45}$. Рентабельность возделывания ярового ячменя сорта Знатный при нормах внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ – $N_{45}P_{45}K_{45}$ находилась примерно на одинаковом уровне 242,7–270,3%. При увеличении нормы минеральных удобрений рентабель-

ность возделывания культуры резко падала. Так, при нормах внесения $N_{90}P_{90}K_{90}$ и $N_{120}P_{120}K_{120}$ данный показатель находился на уровне 160,4–119,1% соответственно.

Выводы. Таким образом, на продуктивность ячменя сорта Знатный в условиях Рязанской области и темно-серых лесных почв значительно влияют дозы вносимых минеральных удобрений. В варианте с внесением минерального удобрения азотоса в дозе $N_{45}P_{45}K_{45}$ были получены максимальная урожайность и условный чистый доход.

Библиографические ссылки

- Магомедов Н. Р. Магомедова Д.С., Ахмедова С.О., Магомедов Н.Н. Адаптивная агротехнология возделывания новых сортов озимой пшеницы на территории Терско-Сулакской подпровинции // Юг России: экология, развитие. 2017. № 2. С. 171–179. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-2-171-179.
- Гурин А.Г., Котова Е.О. Оценка экономической эффективности применения сидерации при возделывании ярового рапса // Вестник аграрной науки. 2020. № 3(84). С. 17–25. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.17.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.
- Курылева А.Г. Адаптивная реакция сортов ячменя при экологическом испытании в условиях Удмуртской республики // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 67. № 6. С. 52–57. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57.
- Левакова О.В. Селекционная работа по созданию адаптированных к нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 1(73). С. 14–19. DOI:10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19.
- Левакова О.В., Ерошенко Л.М. Новый сорт ярового ячменя Знатный // Аграрная наука. 2020. № 9. С. 80–83. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-341-9-80-84.
- Мельник А.Ф., Фомочкин В.А. Об элементах агротехники, продуктивности и качестве зерна у озимой в условиях Орловской области // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 1. С. 122–125. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.1.122rus.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 2019. 194 с.
- Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.
- Смуров С.И., Наумкин В.Н., Ермолаев С.Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания // Вестник ОрелГАУ. 2020. № 2(83). С. 36–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36.

References

- Magomedov N.R. Magomedova D.S., Ahmedova S.O., Magomedov N.N. Adaptivnaya agrotekhnologiya vozdeleyvaniya novykh sortov ozimoy pshenicy na territorii Tersko-Sulakskoj podprovincii [Adaptive agricultural technology for the cultivation of new winter wheat varieties in the Tersko-Sulak sub-

province] // YUg Rossii: ekologiya, razvitie. 2017. № 2. S. 171–179. DOI: 10.18470/1992-1098-2017-2-171-179.

2. Gurin A.G., Kotova E.O. Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya sideratsii pri vozdeleyvanii yarovogo rapsa [Estimation of the economic efficiency of the use of green manure when cultivating spring rape] // Vestnik agrarnoy nauki. 2020. № 3(84). S. 17–25. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.3.17.

3. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of study results)]. M., 2012. 352 s.

4. Kuryleva A.G. Adaptivnaya reaktsiya sortov yachmenya pri ekologicheskom ispytanii v usloviyakh Udmurtskoy respubliki [Adaptive response of barley varieties during environmental testing in the Udmurt Republic] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2018. T. 67. № 6. S. 52–57. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57.

5. Levakova O.V. Selekcionnaya rabota po sozdaniyu adaptirovannykh k nechernozemnoy zone RF sortov yarovogo yachmenya i perspektivy razvitiya dannoy kul'tury v Ryazanskoj oblasti [Breeding work on the development of spring barley varieties adapted to the non-blackearth part of the Russian Federation and the prospects for the development of the crop in the Ryazan region] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2021. № 1(73). S. 14–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-14-19.

6. Levakova O.V., Eroshenko L.M. Novyj sort yarovogo yachmenya Znatnyj [The new spring barley variety 'Znatnyj'] // Agrarnaya nauka. 2020. № 9. S. 80–83. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-341-9-80-84.

7. Mel'nik A.F., Fomochkin V.A. Ob elementah agrotekhniki, produktivnosti i kachestve zerna u ozimoy v usloviyakh Orlovskoj oblasti [On the elements of agricultural technology, productivity and quality of grain in winter in the conditions of the Oryol region] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2014. № 1. S. 122–125. DOI: 10.15389/agrobiology.2014.1.122rus.

8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur [Methodology of the State Variety Testing of agricultural crops]. M., 2019. 194 s.

9. Rybas' I.A. Povyshenie adaptivnosti v selekcii zernovykh kul'tur [Adaptability improvement in grain crop breeding] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2016. T. 51. № 5. S. 617–626. DOI: 10.15389/agrobiology.2016.5.617rus.

10. Smurov S.I., Naumkin V.N., Ermolaev S.N. Urozhajnost' i kachestvo zerna yarovogo yachmenya v zavisimosti ot razlichnykh predshestvennikov i fonov mineral'nogo pitaniya [Spring barley productivity and grain quality, depending on various forecrops and backgrounds of mineral nutrition] // Vestnik OrelGAU. 2020. № 2(83). S. 36–44. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2020.2.36.

Поступила: 28.10.20; принята к публикации: 24.12.20.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Левакова О.В. – концептуализация исследований, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Гладышева О.В. – концептуализация исследований, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.