

УДК 633.111.1 : 631.527

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ
ПО УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА И ЕЁ СТАБИЛЬНОСТИ**

© 2024 Д.О. Долженко, Д.Ю. Трутнева, Н.Э. Бугакова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова

Статья поступила в редакцию 12.09.2024

В статье представлены результаты изучения 20 сортов озимой мягкой пшеницы разного эколого-географического происхождения в степной зоне Среднего Поволжья в контрастные по гидротермическому режиму годы (2021–2023). Цель исследований – оценка сортов по урожайности зерна и её стабильности. Полевые опыты проведены в Самарском НИИСХ – филиале СамНИЦ РАН в зернопаровом севообороте по предшественнику чистый пар. Для оценки параметров стабильности урожайности зерна применяли комплекс статистических параметров по методам, включённым в пакет *agrostab* для программной среды R. 2022 год был наиболее благоприятным для озимой пшеницы, 2021 год был засушливым на всём протяжении вегетации озимых, 2023 год характеризовался жарой и засухой во время формирования и налива зерна. Снижение урожайности в среднем по всем сортам составило в засушливые годы по сравнению с 2022 годом 48 % (2021 г.) и 32 % (2023 г.). Выявлены сорта с высокой общей адаптивной способностью (ОАС) – Агрофак 100, Скипетр, Вьюга, Бирюза и Марафон со средней за три года урожайностью 6,06...6,15 т/га. На основании применения различных критериев стабильности выделены сорта Жемчужина Поволжья и Базис, сочетающие средний уровень ОАС с повышенной стабильностью урожайности, а также сорта с высокой ОАС и средним уровнем стабильности – Вьюга, Скипетр, Миг и Агрофак 100. Эти сорта перспективны для промышленного использования в регионе исследований. Отмечено удобство созданного отечественными разработчиками пакета *agrostab* для программной среды R (R Foundation), который содержит 12 популярных методик оценки стабильности генотипов и может широко использоваться в обработке результатов исследований по селекции растений.

Ключевые слова: пшеница мягкая озимая (*Triticum aestivum* L.), сорта, урожайность, адаптивная способность, стабильность, статистические методы

DOI: 10.37313/2782-6562-2024-3-3-13-23

EDN: OPMDPA

ВВЕДЕНИЕ

Озимая пшеница – основная зерновая культура в Среднем Поволжье. От её урожайности в сильной степени зависят валовые сборы зерна в регионе [1, 2]. В ближайшей перспективе увеличение урожайности озимой пшеницы и её доходности будет во многом определяться успехами в её селекционном улучшении. По мнению селекционеров, сорта озимой пшеницы нового поколения более отзывчивы на средства интенсификации, устойчивы к большинству патогенов и засухе. Тем не менее, сорта, включённые в реестр, отличаются по реакции на абиотические и биотические стрессы и для их эффективного

использования необходимы соответствующие исследования. Дифференциация сортовых систем предполагает «адресное» использование каждого сорта в соответствии с его свойствами [3, 4, 5].

Как при селекции новых сортов, так и при подборе сортов для выращивания из уже имеющегося сортименте необходимо учитывать существенно возросшую за последние 30 лет аридность климата вегетационного периода в Среднем Поволжье [6]. Аридизация отмечается и в других регионах России и мира, что обычно связывают с глобальными и локальными изменениями климата [7, 8].

Стабилизация валовых сборов зерна пшеницы неизбежно связана с усилением признаков адаптивности сортов к засухе [9]. Желательно иметь экологически пластичные сорта, способные давать высокий урожай в благоприятные годы и не снижать его при стрессовом воздействии [10]. В процессе целенаправленной селекции на засухоустойчивость удаётся выделять сорта с относительно более стабильной урожайностью за счёт усиления их продуктивных и адаптивных свойств [11, 12, 13].

Долженко Дмитрий Олегович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы.

E-mail: ddolzhen-ko75@yandex.ru

Трутнева Диана Юрьевна, заведующий лабораторией технических культур и агро-экологического испытания.

E-mail: trutnevadiana@gmail.com

Бугакова Надежда Эдуардовна, младший научный сотрудник лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы.

E-mail: bugakova1987@yandex.ru

Пластичность и стабильность основаны на понятии гомеостаза. По В. В. Хангильдину [14], гомеостатичность – это способность генотипа сводить к минимуму последствия неблагоприятных воздействий внешней среды в процессе накопления запасных веществ в семенах и биомассе в целом. В. В. Сюков [15] вводит термин «гомеоадаптивность» – понятие, объединяющее близкие механизмы экологической пластичности, адаптивности в широком смысле и неспецифического компонента гомеостаза.

Известно, что не существует универсального параметра, способного адекватно оценить биологическую сущность понятий, связанных с гомеостазом сортов, поскольку многомерный ответ генотипа на факторы окружающей среды невозможно свести в унивалентную структуру статистических оценок [15, 16]. Тем не менее, в ряде работ показано, что достаточно продуктивным является использование для оценки стабильности и пластичности комплекса параметров, предложенных разными исследователями [15, 17, 18].

Цель исследований – оценка сортов озимой мягкой пшеницы разного эколого-географического происхождения по урожайности и её стабильности в степной зоне Среднего Заволжья в контрастные по засухливости годы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований были 20 сортов озимой мягкой пшеницы, созданных в разных агроэкологических зонах России, в том числе:

Самарский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН – 7 сортов;

Поволжский НИИСС – филиал СамНЦ РАН – 2 сорта;

ФАНЦ Юго-Востока – 5 сортов (в т.ч. 1 сорт Ершовской ОСОЗ);

Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко – 4 сорта;

АНЦ «Донской» – 1 сорт;

ИП Полетаев Г.М. – 1 сорт.

Исследованная сортовая популяция значительно различается по морфотипу (высота растений, продолжительность вегетационного периода), включает сорта степной эколого-географической группы и потенциально высокопродуктивные сорта интенсивного типа. Посевы размещали на опытном поле Самарского НИИСХ (пгт. Безенчук). Почва опытного участка – чернозём обыкновенный среднемощный среднесуглинистый. Предшественник – чистый пар. Основная обработка под пар состояла из зяблевой вспашки на глубину 25–27 см. Весной проводили покровное боронование, летом – культивации на глубину 6–8 см. Перед посевом – предпосевная культивация на 6–8 см. Посев осуществляли пневматической порционной сеялкой «Клён-1,5»

с нормой высева 4,5 миллионов всхожих зёрен на гектар, после чего проводили предпосевное прикатывание. Учётная площадь делянки – 25 м², повторность четырёхкратная. В фазу весеннего кушения вносили азотное удобрение (аммиачная селитра 120 кг/га). Уборка урожая – малогабаритным комбайном «Wintersteiger Classic». Урожайные данные приведены к 14% влажности. Учёты и наблюдения проведены по методике государственного сортоиспытания [19].

При обработке экспериментальных данных использовались методы вариационного, дисперсионного и корреляционного анализа [20].

Для оценки параметров стабильности урожайности зерна был применён комплекс статистических параметров по методам, включённым в пакет *agrostab* [21, 22] для программной среды R – бесплатном программном обеспечении для анализа данных [23] версии 4.3.2.

Пакет позволяет рассчитывать следующие показатели (приведены по [18, 22]):

- Cv_i – коэффициент вариации генотипа по Т. R. Francis, L. W. Kanneberg (1978);

- S_i^2 – средовая вариация генотипа по Т. Roemer (1917);

- b_i – коэффициент регрессии генотипа на среду; s_{di}^2 – вариация отклонений от линии регрессии по S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966);

- a_i – коэффициент мультипликативности по В. А. Драгавцев, А. Ф. Аверьянова (1983);

- hom_i – коэффициент гомеостатичности по В. В. Хангильдину с соавторами (1979);

- $S_i^{(1)}$ и $S_i^{(2)}$ – непараметрические оценки стабильности по R. Hussar, M. Huehn (1987);

- комплекс параметров А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой (1985): OAC_i – общая адаптивная способность генотипа, $\sigma_{g \times ei}^2$ – вариация взаимодействия «генотип × среда», σ_{CAGi}^2 – вариация специфической адаптивной способности, S_{gi} – относительная стабильность генотипа;

- P_i – мера превосходства сорта по С. S. Linn, M. R. Binns (1988);

- H_i – взвешенный показатель гомеостатичности по С. П. Мартынову;

- σ_i^2 – вариация стабильности по G. K. Shukla (1972);

- α_i, λ_i – соответственно регрессия генотипа на среду и отклонение от линейного ответа по методу G. C. C. Tai (1971);

- U_i – устойчивость индекса стабильности по Р. А. Удачину (1990);

- W_i – экваленса G. Wricke (1962).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Регион проведения исследований относится к зоне резко-континентального климата. Среднемноголетнее количество осадков за год – 561

мм, гидротермический коэффициент (ГТК) за апрель-август – 0,40.

За годы исследования отмечена значительная изменчивость условий весенне-летнего отрезка вегетации.

В 2021 году наблюдалась весенняя воздушная засуха в период «возобновление вегетации – колошение» – с высокими температурами и суховеями (67 % дней в периоде с относительной влажностью воздуха 30 % и менее. Гидротермический коэффициент (ГТК по Г. Т. Селянинову) периода «возобновление вегетации – колошение» составил 0,55. Наблюдался сброс побегов кущения, недобор биомассы, более ранний (на 3...7 суток) переход озимой пшеницы к генеративной фазе развития.

Межфазный период «колошение – созревание» в 2021 году был неблагоприятным, несмотря на итоговый ГТК периода 1,23 (связанный с ливневыми осадками в середине периода), наблюдались «захват» зерна и преждевременное окончание вегетации озимой пшеницы.

Наиболее комфортные условия для роста и развития посевов озимой пшеницы сложились в 2022 году. Весь весенне-летний отрезок вегетации протекал при пониженном температур-

ном режиме и количестве осадков на 49% выше нормы. Было лишь 12 дней с суховеями в период «выход в трубку–колошение». ГТК периода «возобновление весенней вегетации–колошение» составил 2,16, периода «колошение–восковая спелость» – 0,85. Посевы хорошо развивались и сформировали высокий урожай зерна.

В 2023 году ГТК за период «возобновление вегетации – колошение» составил 0,52, при этом относительная влажность воздуха опускалась до 30 % и ниже в 60 % дней периода. Условия налива зерна были близки среднемноголетним значениям, ГТК составил 0,67, наблюдались суховеи. В целом условия весенне-летнего отрезка вегетации можно считать умеренно-засушливыми.

Урожайность зерна озимой пшеницы варьировала как по сортам, так и по годам изучения (таблица 1). Двухфакторный дисперсионный анализ показал достоверность вклада факторов «сорт» и «год» в дисперсию признака. Влияние взаимодействия «генотип × среда» (ВГС) также было доказано. Доли влияния факторов и их взаимодействия составили соответственно 5,6; 84,4 и 9,4 % (таблица 2). Таким образом, наибольшее влияние на урожайность оказали условия лет исследований, хотя сортовые различия, также как

Таблица 1. Урожайность сортов озимой пшеницы в агроэкологическом испытании (2021–2023 гг.), т/га

Сорт	Оригинатор	Урожайность т/га				± к St
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее	
Безенчукская 380 (st)	Самарский НИИСХ	3,63	6,64	5,26	5,18	0,00
Малахит	Самарский НИИСХ	4,42	7,63	5,12	5,72	0,55
Светоч	Самарский НИИСХ	4,13	7,43	5,22	5,59	0,42
Базис	Самарский НИИСХ	4,37	7,56	5,38	5,77	0,59
Вьюга	Самарский НИИСХ	4,19	8,29	5,86	6,11	0,94
Бирюза	Самарский НИИСХ	3,93	8,91	5,53	6,12	0,95
Альтернатива	Самарский НИИСХ	3,99	6,30	4,91	5,07	-0,11
Поволжская 86	Поволжский НИИСС	3,88	6,09	4,89	4,95	-0,22
Поволжская Нива	Поволжский НИИСС	3,70	6,29	4,50	4,83	-0,35
Марафон	АНЦ «Донской»	4,05	8,62	5,77	6,15	0,97
Саратовская 17	ФАНЦ Юго-Востока	4,27	6,20	5,03	5,17	-0,01
Анастасия	ФАНЦ Юго-Востока	3,69	7,66	5,23	5,53	0,35
Калач 60	ФАНЦ Юго-Востока	3,95	8,26	4,88	5,70	0,52
Жемчужина Поволжья	ФАНЦ Юго-Востока	4,06	7,12	5,40	5,53	0,35
Новоершовская	Ершовская ОСОЗ	3,99	6,54	5,16	5,23	0,05
Скипетр	Полетаев Г.М.	4,16	8,51	5,53	6,07	0,89
Юка	НЦЗ им. Лукьяненко	3,72	8,70	4,86	5,76	0,58
Стиль 18	НЦЗ им. Лукьяненко	3,25	8,93	4,50	5,56	0,38
Миг	НЦЗ им. Лукьяненко	3,33	9,13	5,25	5,90	0,73
Агрофак 100	НЦЗ им. Лукьяненко	3,64	9,03	5,50	6,06	0,88
Среднее		3,92	7,69	5,19	5,60	
НСР ₀₅ для фактора «сорт»						0,11
НСР ₀₅ для фактора «год»						0,07
НСР ₀₅ для взаимодействия «год × сорт»						0,04
НСР ₀₅ для частных средних						0,20

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа урожайности 20 сортов озимой мягкой пшеницы (двухфакторный равномерный комплекс), 2021–2023 гг.

Источник вариации	Суммы квадратов	Степени свободы	Средние квадраты	F_{ϕ}	Влияние фактора, %
Фактор А (сорт)	38,95	19	2,05	83,8***	5,6
Фактор В (год)	590,10	2	295,05	12066,3***	84,4
Взаимодействие А×В	65,49	38	1,72	70,5***	9,4
Случайные отклонения	4,40	180	0,02		0,6

*** - F_{ϕ} достоверно превосходит F_{st} при $p = 0,001$

и различия по эффектам ВГС, были достоверны на очень высоком уровне значимости ($p = 0.001$).

В благоприятном 2022 году была получена самая высокая урожайность зерна – 7,69 т/га в среднем по сортам, с максимумом 9,13 т/га у сорта Миг и минимумом 6,09 т/га у сорта Поволжская 86. Кроме сорта Миг, высокой урожайностью 8,62...9,03 т/га характеризовались интенсивные сорта Марафон, Юка, Бирюза, Стиль 18, Агрофак 100. Самая низкая урожайность (6,09...6,64 т/га) была у относительно высокорослых сортов Безенчукская 380, Новоершовская, Альтернатива, Поволжская Нива, Саратовская 17, Поволжская 86, что отчасти объясняется влиянием полегания, отчасти – присущим этим сортам более низким уровнем потенциальной продуктивности.

Уровень урожайности зерна всех сортов в 2022 году взят за точку отсчёта как максимально реализованная продуктивность.

В острозасушливом 2021 году средняя урожайность по опыту составила 3,92 т/га, при варьировании от 3,25 т/га у сорта Стиль 18 до 4,42 т/га у сорта Малахит. Снижение в среднем составило 48 % к уровню благоприятного 2022 года. Наименьшим (31...39 %) оно было у сортов Новоершовская, Альтернатива, Поволжская 86 и Саратовская 17. Наибольшим (56...64 %) – у интенсивных сортов Стиль 18, Миг, Агрофак 100, Юка и Бирюза. Самая высокая урожайность зерна в 2021 году была у сортов Светоч, Скипетр, Вьюга, Саратовская 17, Базис и Малахит (4,13...4,42 т/га). Самая низкая – у сортов Миг и Стиль 18 – 3,33 и 3,25 т/га соответственно.

В 2023 году с жарой и засухой на наливе зерна средняя урожайность составила 5,19 т/га, самой низкой урожайностью отличались сорта Поволжская Нива и Стиль 18 (по 4,50 т/га), самой высокой – сорт Вьюга (5,86 т/га) и Марафон (5,77 т/га). Снижение урожайности было в среднем 32 % от уровня 2022 года. Меньше всего снизили урожайность зерна сорта Жемчужина Поволжья, Альтернатива, Новоершовская, Безенчукская 380, Поволжская 86, Саратовская 17 (снижение 19...24 %), больше всего – Стиль 18, Юка, Миг, Калач 60 (41...50 %).

В среднем за три года наивысший урожай получен у сортов Агрофак 100, Скипетр, Вьюга,

Бирюза и Марафон – 6,06...6,15 т/га. Соответственно, они имели самые большие эффекты общей адаптивной способности OAC_1 , рассчитанные по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой, – от 0,46 до 0,55. Таким образом, мы выделили сорта с наилучшей адаптацией по урожайности зерна. Обращает на себя внимание то, что в эту группу попало большинство сортов интенсивного типа с укороченным стеблем.

Наименее адаптивные сорта по средней урожайности (4,83...5,23 т/га) и эффектами OAC_1 (-0,77...-0,37) – Поволжская нива, Поволжская 86, Альтернатива, Саратовская 17, Безенчукская 380 и Новоершовская. Все они высокорослые сорта экстенсивного или полунинтенсивного типа.

При внимательном анализе таблицы 1 заметно, что сорта ведут себя не одинаково в различные годы. Например, сорт Скипетр ежегодно формировал высокую урожайность зерна. Сорт Стиль 18 имел одно из максимальных значений в благоприятный 2022 год, но проваливался по урожайности в засушливые годы. Сорт Саратовская 17 был урожайным в 2021 году, при засухе на наливе зерна, показал невысокий потенциал продуктивности в благоприятном 2022 году и имел близкий к среднему урожайность в умеренно засушливом 2023 году. Сорта, значительно снижавшие урожайность в оба засушливых года – Стиль 18, Миг и Юка (57...64 % в 2021 г., 42...50 % в 2023 г.), а меньше всех снижали урожайность Новоершовская, Альтернатива, Поволжская 86 и Саратовская 17 (2021 г. – на 31...39 %, 2023 г. – 19...22 %).

Чтобы выделить сорта, сочетающие общую адаптивную способность со средовой устойчивостью, т.е. гомеоадаптивные, был проведён анализ стабильности урожайности зерна изучаемых сортов озимой пшеницы по комплексу статистических параметров, приведённых в разделе «Материал и методика исследований». Полученные значения были обработаны при помощи корреляционного анализа, чтобы выбрать наиболее адекватные поставленным задачам параметры стабильности. Получившаяся матрица коэффициентов парной корреляции приведена в таблице 3.

Сразу обращает на себя внимание тот факт, что параметры варианты взаимодействия «ге-

Таблица 3. Матрица коэффициентов корреляции между параметрами стабильности 20 сортов озимой пшеницы, 2021...2023 гг.

	\bar{X}	Cv_i	S_t^2	b_i	s_{ai}^2	a_i	hom_i	$S_t^{(1)}$	$S_t^{(2)}$	OAC_i	$\sigma_{g \times ei}^2$	σ_{CACi}^2	S_{gi}	P_i	H_i	σ_t^2	α_i	λ_i	U_i	W_i
\bar{X}	1,00																			
Cv_i	0,63	1,00																		
S_t^2	0,69	0,99	1,00																	
b_i	0,75	0,98	0,99	1,00																
s_{ai}^2	-0,12	0,34	0,26	0,23	1,00															
a_i	-0,64	-1,00	-0,99	-0,99	-0,32	1,00														
hom_i	-0,70	-0,90	-0,86	-0,91	-0,27	0,90	1,00													
$S_t^{(1)}$	-0,35	0,14	0,19	0,07	0,33	-0,14	0,21	1,00												
$S_t^{(2)}$	-0,36	0,15	0,21	0,07	0,29	-0,15	0,23	0,96	1,00											
OAC_i	1,00	0,63	0,69	0,75	-0,12	-0,64	-0,70	-0,35	-0,36	1,00										
$\sigma_{a \times ei}^2$	-0,24	0,31	0,37	0,24	0,24	-0,31	0,08	0,91	0,96	-0,24	1,00									
σ_{CACi}^2	0,69	0,99	1,00	0,99	0,26	-0,99	-0,86	0,19	0,21	0,69	0,37	1,00								
S_{gi}	0,63	1,00	0,99	0,99	0,34	-1,00	-0,90	0,14	0,15	0,63	0,31	0,99	1,00							
P_i	-0,97	-0,72	-0,74	-0,81	-0,02	0,73	0,81	0,40	0,40	-0,97	0,27	-0,74	-0,72	1,00						
H_i	0,86	0,15	0,22	0,31	-0,36	-0,16	-0,31	-0,56	-0,57	0,86	-0,53	0,22	0,15	-0,77	1,00					
σ_t^2	-0,24	0,31	0,37	0,24	0,24	-0,31	0,08	0,91	0,96	-0,24	1,00	0,37	0,31	0,27	-0,53	1,00				
α_i	0,75	0,98	0,99	1,00	0,23	-0,99	-0,91	0,07	0,07	0,75	0,24	0,99	0,99	-0,81	0,31	0,24	1,00			
λ_i	-0,12	0,34	0,26	0,23	1,00	-0,32	-0,27	0,33	0,29	-0,12	0,24	0,26	0,34	-0,02	-0,36	0,24	0,23	1,00		
U_i	-0,65	-0,50	-0,54	-0,57	-0,23	0,51	0,50	0,02	0,08	-0,65	0,06	-0,54	-0,51	0,65	-0,49	0,06	-0,57	-0,23	1,00	
W_i	-0,24	0,31	0,37	0,24	0,24	-0,31	0,08	0,91	0,96	-0,24	1,00	0,37	0,31	0,27	-0,53	1,00	0,24	0,24	0,06	1,00

Примечание. \bar{X} – средняя урожайность; остальные урожайные показатели приведены в статье в разделе «Материал и методы исследований»

Таблица 4. Параметры стабильности сортов озимой мягкой пшеницы, 2021...2023 гг.

Сорт	Средняя урожайность		Коэффициент вариации		Средовая дисперсия		Коэффициент регрессии генотипа на среду		Коэффициент мультипликативности		Коэффициент гомеостатичности		Общая адаптивная способность		Варианса САС		Относительная стабильность генотипа		Устойчивость индекса стабильности	
	т/га	ранг	Sv _i	ранг	S _i ²	ранг	b _i	ранг	a _i	ранг	hom _i	ранг	OAC _i	ранг	σ ² _{САСi}	ранг	S _{gi}	ранг	U _i	ранг
Безенчукская 380	5,18	15	25,0	8	2,3	6	0,76	6	0,17	8	6,9	9	-0,42	15	2,27	6	29,1	8	38,4	7
Малахит	5,72	9	25,2	9	2,8	10	0,87	9	0,15	9	7,1	8	0,12	9	2,84	10	29,5	9	-109,2	19
Светоч	5,59	11	25,8	10	2,8	9	0,88	10	0,12	10	6,6	10	-0,01	11	2,82	9	30,0	10	5,8	12
Базис	5,77	7	24,2	7	2,7	8	0,85	8	0,18	7	7,5	7	0,17	7	2,65	8	28,2	7	17,2	9
Вьюга	6,11	3	28,8	11	4,3	12	1,07	12	0,02	11	5,2	11	0,51	3	4,25	12	33,7	11	13,1	10
Бирюза	6,12	2	35,4	16	6,5	16	1,32	16	-0,21	16	3,5	16	0,52	2	6,46	16	41,5	16	-187,6	20
Альтернатива	5,07	17	19,8	3	1,4	3	0,60	3	0,33	3	11,1	3	-0,53	17	1,35	3	22,9	3	8,0	11
Поволжская 86	4,95	18	19,2	2	1,2	2	0,57	2	0,35	2	11,7	2	-0,65	18	1,22	2	22,3	2	72,1	5
Поволжская Нива	4,83	19	23,8	5	1,8	5	0,69	5	0,20	5	7,8	5	-0,77	19	1,75	5	27,4	5	141,6	1
Марафон	6,15	1	32,1	14	5,3	15	1,20	15	-0,09	14	4,2	14	0,55	1	5,32	15	37,5	14	-41,9	14
Саратовская 17	5,17	16	16,2	1	0,9	1	0,51	1	0,45	1	16,5	1	-0,43	16	0,94	1	18,8	1	64,4	6
Анастасия	5,53	13	31,3	12	4,0	11	1,04	11	-0,05	12	4,5	13	-0,07	13	4,00	11	36,2	12	97,5	3
Калач 60	5,70	10	34,0	15	5,1	14	1,17	14	-0,15	15	3,9	15	0,10	10	5,14	14	39,8	15	-103,1	18
Жемчужина Поволжья	5,53	13	23,8	6	2,4	7	0,79	7	0,20	6	7,6	6	-0,07	13	2,35	7	27,7	6	78,2	4
Новоершовская	5,23	14	21,2	4	1,6	4	0,66	4	0,30	4	9,7	4	-0,37	14	1,63	4	24,4	4	98,6	2
Скипетр	6,07	4	31,3	13	4,9	13	1,16	13	-0,07	13	4,5	12	0,47	4	4,94	13	36,6	13	-46,8	15
Юка	5,76	8	38,7	18	6,8	17	1,35	17	-0,31	17	3,0	17	0,16	8	6,80	17	45,3	18	-64,0	17
Стиль 18	5,56	12	45,8	20	8,9	20	1,54	20	-0,55	20	2,1	20	-0,04	12	8,90	20	53,7	20	-51,2	16
Миг	5,90	6	42,8	19	8,7	19	1,54	19	-0,46	19	2,4	19	0,30	6	8,73	19	50,0	19	31,2	8
Агрофак 100	6,06	5	38,6	17	7,5	18	1,43	18	-0,32	18	2,9	18	0,46	5	7,49	18	45,2	17	-20,8	13
Среднее	5,60		29,2		4,1		1,00		0,01		6,4		0,00		4,09		34,0		2,1	

Примечание. Обозначения приведены в статье в разделе «Материал и методы исследований»

нотип × среда» $\sigma_{g \times e_i}^2$ из комплекса Кильчевского и Хотылевой, варiances стабильности σ_i^2 и экваленса W_i имели одинаковые коэффициенты корреляции с остальными включёнными в комплекс параметрами. В одну корреляционную плеяду с ними (на уровне связи 0,9) также попали обе непараметрические оценки $S_i^{(1)}$ и $S_i^{(2)}$ по Nassar & Huenn. Все эти показатели определяют стабильность генотипа как его реакцию на среду относительно средней реакции всех генотипов в испытании. Сорт, стабильный в соответствии с этим определением, является таковым только по отношению к другим сортам в данном испытании, без какой-либо гарантии, что он будет стабильным при оценке с другим набором генотипов. Соответственно, говорить о наследовании стабильности данного типа сложно. Опирается на эти методы можно, если генотипы являются репрезентативной выборкой тех, что выращиваются в данной местности [16], что не является нашим случаем.

Тем не менее, отметим наиболее стабильные по этим критериям сорта: высокопродуктивные сорта Вьюга и Скипетр и среднепродуктивные сорта Анастасия, Светоч, Базис. Ранжирование по разным показателям ($\sigma_{g \times e_i}^2$, σ_i^2 , W_i , $S_i^{(1)}$ и $S_i^{(2)}$) всегда выделяло эти сорта, иногда незначительно меняя их ранги. Наименее стабильные сорта – низкопродуктивный Саратовская 17, среднепродуктивный Стиль 18 и высокопродуктивный Миг.

Отдельно, не коррелируя со всеми остальными показателями на уровне связи теснее 0,3, располагаются квадрат отклонения от регрессии Eberhart & Russel S_{di}^2 и варiances стабильности Tai λ_i . В этих параметрах в качестве меры стабильности используется остаточный средний квадрат от модели регрессии, и, по мнению ряда исследователей [15, 16], они не имеют прямого отношения к устойчивости генотипа и не наследуются. Поэтому в дальнейшем анализе мы не принимали данные параметры стабильности во внимание, хотя можно отметить наиболее стабильные (Светоч, Миг, Агрофак 100) и наименее стабильные сорта (Стиль 17, Безенчукская 380, Юка, Калач 60), выделенные при их помощи.

Кроме того, полезно исключить те параметры, которые тесно коррелируют с урожайностью зерна. Известно, что среднее значение признака и чувствительность к среде находятся под самостоятельным генетическим контролем и относительно независимы [15, 17, 24]. В нашем исследовании тесную корреляцию со средней урожайностью имели мера превосходства сорта p_i по Lin & Binns и показатель гомеостатичности H_i по Мартынову ($r = 0,97$ и $0,86$ соответственно). Ранжирование изучаемых генотипов по этому показателю совпало с ранжированием по

средней урожайности и привело к выделению высокопродуктивных сортов Марафон, Бирюза, Вьюга, Скипетр и Агрофак 100. То есть это оценка не стабильности, а, скорее, общей адаптивности сорта. Аналогичные данные были получены и другими исследователями [18, 22].

Таким образом, остаются показатели, оценка которых базируется на оценке межсредовой дисперсии генотипов, которая не зависит от других генотипов, включённых в испытание. Эти показатели в значительной мере обусловлены наследственно [15]. Значения их для изучаемого набора сортов представлены в таблице 4. Для наглядности в таблице 4 приведено также ранжирование сортов по каждому показателю.

Большинство из этих показателей образуют одну корреляционную плеяду с очень тесными взаимосвязями ($r = 0,9 \dots 1,0$) – коэффициент вариации C_{v_i} , относительная стабильность S_{gi} , средовая дисперсия S_i^2 , варiances специфической адаптивной способности σ_{CACi}^2 и коэффициент гомеостатичности hom_i , а также коэффициенты регрессии генотипа на среду b_i (по Eberhart, Russel) и α_i (по Tai).

Коэффициент вариации генотипа C_{v_i} , предложенный Francis & Kannenberg, и относительная стабильность генотипа S_{gi} из комплекса Кильчевского и Хотылевой дают одинаковую информацию (коэффициент корреляции между ними равен 1). Уровень связи их с урожайностью средний ($r = 0,63 \pm 0,183$). Очень близкую информацию даёт и коэффициент мультипликативности a_i по В.А. Драгавцеву ($r = -1,00 \pm 0,006$ с C_{v_i} и S_{gi} ; $r = -0,64 \pm 0,181$ с урожайностью). Эти методы дают довольно жёсткую оценку стабильности, что приводит к отбору низкопродуктивных сортов – Саратовская 17, Поволжская 86, Альтернатива, Новоершовская, Поволжская Нива. Нестабильными сортами оказываются высокопродуктивные сорта Бирюза, Агрофак 100, Миг (5,90...6,12 т/га) и среднепродуктивные Юка, Стиль 18 (5,76 и 5,56 т/га). Как сорт с повышенной стабильностью и средней урожайностью выделяется сорт Жемчужина Поволжья. Сорта с высокой урожайностью и средней стабильностью – Вьюга и Скипетр.

Средовая дисперсия генотипа S_i^2 и варiances специфической адаптивной способности σ_{CACi}^2 также дают абсолютно одинаковую информацию о генотипах. Корреляция с урожайностью средняя ($r = 0,69 \pm 0,172$). Использование их выделяет те же наиболее и наименее стабильные сорта, что и отбор по коэффициенту вариации; неизменными остались сорта с высокой урожайностью и средней стабильностью Вьюга и Скипетр. А к сортам с повышенной стабильностью и средней урожайностью, кроме Жемчужины Поволжья, добавились Базис, Светоч и Малахит.

Коэффициент гомеостатичности по В.В. Хангильдину hom_i отрицательно коррелировал с урожайностью ($r = -0,69 \pm 0,168$), и, в целом, дал ещё более жёсткую оценку стабильности, чем вышеописанные показатели. Все высокопродуктивные сорта по этому показателю оказались нестабильны (2,1...5,2), а все низкопродуктивные – высокостабильными (7,8...16,5), за исключением сорта Безенчукская 380, который попал в генотипы со средней стабильностью. Тем не менее, можно выделить среднепродуктивные сорта с повышенным уровнем стабильности Жемчужина Поволжья и Базис, а также один высокопродуктивный сорт со средним уровнем стабильности – Вьюга.

Отдельно расположен показатель «устойчивость индекса стабильности» U_i , предложенный Р. А. Удачным как модификация метода В. В. Хангильдина. Корреляция его с урожайностью средняя ($r = -0,65$), и с другими генотипически обусловленными оценками стабильности он коррелирует достоверно, но на гораздо более низком уровне связи – около 0,5 (с положительным или отрицательным знаком).

Согласно индексу U_i , наиболее нестабильными являются сорта Калач 60, Малахит и Бирюза (из которых только Бирюза – высокоурожайный сорт), а наиболее стабильными – низкопродуктивные Поволжская Нива, Новоеоршовская и высокоурожайный сорт Анастасия. Можно также выделить сорт Жемчужина Поволжья – как среднепродуктивный с повышенной стабильностью и сорта Миг, Вьюга, Агрофак 100, Марафон, Скипетр – высокопродуктивные со средней стабильностью.

Если рассматривать коэффициент регрессии генотипа на среду b_i по методу Eberhart, Russel (и аналогичный показатель α_i по Tai), то он даёт информацию, сходную таковой по парам показателей C_{vi} / S_{gi} и S_i^2 / σ_{CACi}^2 . Поэтому он, скорее, интересен удобством интерпретации.

Средней отзывчивостью на изменение условий среды характеризовались сорта Анастасия и Вьюга ($b_i = 1,04$ и $1,07$ соответственно). Все интенсивные сорта (Бирюза, Юка, Агроф.100, Миг, Стиль 18) имели b_i , варьирующий от 1,32 до 1,54, то есть имели максимальную отзывчивость на изменение условий выращивания. Сорта Скипетр, Калач 60 и Марафон ($b_i = 1,16...1,20$) также отзывались на изменение условий, но в меньшей степени.

Все остальные сорта в опыте имели коэффициент регрессии на среду $b_i < 1$, что показывает их меньшую зависимость от условий выращивания. Сюда отнесены все низкопродуктивные сорта, а также среднепродуктивные полунтенсивные сорта Жемчужина Поволжья, Базис, Малахит и Светоч ($b_i = 0,79...0,88$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При испытании сортов озимой мягкой пшеницы по продуктивности в условиях степной зоны Самарской области выявлены сорта с урожайностью зерна 8,62...9,13 т/га в благоприятных условиях вегетационного периода 2022 г.: Марафон, Юка, Бирюза, Стиль 18, Агрофак 100 и Миг. В острозасушливом 2021 году урожайность в среднем по всем сортам была ниже на 48 %, выделены наиболее продуктивные сорта Светоч, Скипетр, Вьюга, Саратовская 17, Базис и Малахит с урожайностью 4,13...4,42 т/га. В 2023 году с жарой и засухой на наливе зерна средняя урожайность составила 5,19 т/га (снижение 32 %), самой высокой урожайностью отличались сорт Вьюга (5,86 т/га) и Марафон (5,77 т/га).

В среднем за три года наивысший урожай получен у сортов Агрофак 100, Скипетр, Вьюга, Бирюза и Марафон – 6,06...6,15 т/га. Эти сорта характеризуются как интенсивные, с высокой общей адаптивностью.

С использованием широкого ряда статистических критериев стабильности выделены сорта Жемчужина Поволжья и Базис, сочетающие средний уровень ОАС с повышенной стабильностью. При достаточно высоком потенциале урожайности (реализация 7,1–7,5 т/га в благоприятный год) они имеют преимущество в засушливых условиях.

Среди выделенных по высокой ОАС сортов выделяются Вьюга и Скипетр со средней стабильностью, максимальной урожайностью 8,3–8,5 т/га, и снижением её в засушливых условиях от 29 до 49 % у сорта Вьюга и от 35 до 51 % у сорта Скипетр.

Интенсивные сорта Бирюза, Агрофак 100, Миг, Юка, Стиль 18 с продуктивностью в благоприятных условиях 8,9...9,1 т/га практически всеми статистическими методами определялись как сорта с низкой или пониженной стабильностью, максимально отзывчивыми на изменение условий выращивания. Это объясняется их недостаточной засухоустойчивостью, приводящей к снижению урожайности на 38...64 % от реализованной в благоприятный год. Однако с использованием параметра Р. А. Удачина «устойчивость индекса стабильности» U_i из этой группы сортов выделяются среднестабильные высокопродуктивные сорта Миг и Агрофак 100, которые характеризуются по эффектам ОАС_i как сорта с высокой адаптивной способностью.

Таким образом, выделены сорта, сочетающие высокий уровень общей адаптивной способности со средним уровнем стабильности урожайности – Вьюга, Скипетр, Миг и Агрофак 100, а также сорта со средней общей адаптивностью и повышенной стабильностью – Жемчужина Поволжья и Базис. Эти сорта перспективны

для промышленного использования в регионе исследований.

Следует отметить удобство разработанного отечественными учёными пакета *agrostab* для программной среды R (R Foundation), который содержит 12 популярных методик оценки стабильности генотипов и может широко использоваться в обработке результатов исследований по селекции растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко, С. Н. Региональные изменения погодных условий и их влияние на сельскохозяйственное производство / С. Н. Шевченко, В. А. Корчагин, О. И. Горянин // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 3. – С. 10–12.
2. Солодовников, А. П. Обоснование влияния агрофизических факторов и климатических условий на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Нижнем Поволжье / А. П. Солодовников, Д. А. Уполовников, А. С. Линьков и др. // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 4. – С. 48–52. – DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp48-52.
3. Романенко, А. А. Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы / А. А. Романенко, Л. А. Беспалова, И. Н. Кудряшов, И. Б. Аблова. – Краснодар. – 2005. – 224 с.
4. Оганян, Л. Р. Агротехнологическая эффективность возделывания новых сортов озимой пшеницы в условиях Ставропольского края / Л. Р. Оганян, Е. О. Шестакова, В. Ф. Ерошенко // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 1. – С. 26–31. – DOI: 10.28983/asj.y2022i1pp26-31.
5. Сухоруков, А. Ф. Селекция озимой пшеницы на засухоустойчивость в Среднем Поволжье / А. Ф. Сухоруков, А. А. Сухоруков // Аграрная наука. – 2017. – № 5. – С. 15–18.
6. Горянин, О. И. Влияние климата и погодных условий на урожайность зерновых культур в засушливых условиях Поволжья / О. И. Горянин // Земледелие. – 2024. – № 4. – С. 19–24. – DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24.
7. Johansson, E. Plant Breeding to Mitigate Climate Change—Present Status and Opportunities with an Assessment of Winter Wheat Cultivation in Northern Europe as an Example / Johansson E., Muneer F., Prade T. // Sustainability. – 2023. – V. 15. – No. 16. – 12349. – DOI: 10.3390/su151612349.
8. Грабовец, А. И. Изменение климата и особенности селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и адаптивность к нему / А. И. Грабовец, М. А. Фоменко // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 1. – С. 20–25. – DOI: 10.31857/2500-2082/2023/1/20-25.
9. Жученко, А. А. Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина / А. А. Жученко. – Краснодар: Просвещение–Юг. – 2010. – 485 с.
10. Рыбась, И. А. Влияние условий среды на формирование урожайности сортов озимой пшеницы / И. А. Рыбась, М. М. Иванисов, Д. М. Марченко, А. В. Кирич // Таврический вестник аграрной науки. – 2024. – № 2 (38). – С. 129–139. – DOI: 10.5281/zenodo.12200256
11. Дорохов, Б. А. Современные погодные условия и их воздействие на хозяйственные показатели озимой пшеницы / Б. А. Дорохов, Н. М. Васильева // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2019. – № 11–2(38). – С. 106–111. – DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11762
12. Фоменко, М. А. Особенности трансгрессивной селекции озимой пшеницы в условиях засух / М. А. Фоменко, А. И. Грабовец, Т. А. Олейникова, Е. А. Железняк // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – № 5. – С. 28–32. – DOI: 10.24411/0235-2451-2021.-10504.
13. Сухоруков, А. А. Создание и оценка сорта озимой пшеницы Альтернатива / А. А. Сухоруков, Н. Э. Бугакова, Д. О. Долженко // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 12. – С. 40–44. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_12_40
14. Хангильдин В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур / В. В. Хангильдин // Науч. тех. бюл. ВСГИ. – 1986. – № 2(60). – С. 36–41.
15. Сюков, В. В. Методологические аспекты экологической селекции яровой мягкой пшеницы / В. В. Сюков, М. И. Потушанская, В. Г. Захаров и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2002. – № 10. – С. 29–32.
16. Lin, C. S. Stability Analysis: Where Do We Stand? / C. S. Lin, M. R. Binns, L. P. Lefkovitch // Crop Science. – 1986. – Vol. 26. – Is. 5. – P. 894–900. – DOI: 10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x
17. Кильчевский, А. В. Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Тэхналогія, 1997. – 372 с.
18. Cheshkova, A. F. A Comparison of Statistical Methods for Assessing Winter Wheat Grain Yield Stability / A. F. Cheshkova, P. I. Stepochkin, A. F. Aleynikov et al. // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2020. – Т. 24. – № 3. – С. 267–275. – DOI: 10.18699/VJ20.619
19. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под редакцией М. А. Федина. – М: «Колос», 1985. – 267 с.
20. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: «Колос», 1979. – 415 с.
21. Package ‘agrostab’: Stability Analysis for Agricultural Research. Version: 0.1.0 / Anna Cheshkova. – URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/agrostab/index.html>, свободный доступ, дата обращения 01.03.2024. Требования: R (\geq 3.1)
22. Чешкова, А. Ф. Реализация методов оценки стабильности сортов сельскохозяйственных культур в пакете функций *agrostab* программной среды R / А. Ф. Чешкова, И. Г. Гребенникова, А. Ф. Алейников, Д. И. Чанышев // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34. – № 7. – С. 91–96. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10716
23. R: A Language and Environment for Statistical Computing / R Core Team. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. – URL: <https://www.R-project.org>. – Дата обращения 01.03.2024.
24. Драгавцев, В. А. Генетика признаков продуктивности яровых пшениц в Западной Сибири / В. А. Драгавцев, Р. А. Цильке, Б. Г. Рейтер и др. – Новосибирск: Наука, 1984. – 230 с.

COMPARATIVE EVALUATION OF COMMON WINTER WHEAT CULTIVARS FOR GRAIN YIELD AND ITS STABILITY

© 2024 D.O. Dolzhenko, D.Yu. Trutneva, N.E. Bugakova

Samara Research Institute of Agriculture named after N.M. Tulaykov –
Branch of Samara Federal Research Center RAS, Samara, Russia

The article presents the results of the study of 20 cultivars of common winter wheat of different ecological and geographical origin in the steppe zone of the Middle Volga region in contrasting years (2021-2023) in terms of hydrothermal regime. The aim of research is to evaluate cultivars for grain yield and its stability. Field experiments were conducted in Samara Research Institute of Agriculture – Branch of Samara Federal Research Center RAS in grain-fallow rotation on a complete fallow predecessor. To assess the parameters of grain yield stability, a set of statistical indicators was used according to the methods included in the package ‘agrostab’ for the R software environment. 2022 was the most favorable year for winter wheat, 2021 was dry throughout the winter wheat growing season, 2023 was characterized by heat and drought during formation and filling of grain. Yield reductions averaged 48% (2021) and 32% (2023) in dry years for all varieties compared to 2022. Cultivars with high total adaptive capacity (TAC) – ‘Agrofac 100’, ‘Skipetr’, ‘Vyuga’, ‘Biryuza’ and ‘Marafon’ with three-year average yields of 6.06–6.15 t/ha were identified. Based on the application of different stability indicators, the cultivars ‘Zhemchuzhina Povolzhya’ and ‘Bazis’, combining an average level of TAC with increased yield stability, as well as cultivars with high TAC and an average level of stability (‘Vyuga’, ‘Skipetr’, ‘Mig’ and ‘Agrofac 100’) were identified. These cultivars are promising for commercial use in the research region. The convenience of the package ‘agrostab’ for R software environment (R Foundation), developed by the Russian developers, which contains 12 popular methods of genotype stability estimate and can be widely used in processing the results of plant breeding research, was noted.

Keywords: common winter wheat (*Triticum aestivum* L.), cultivar, yield, adaptive capacity, stability, statistical methods

DOI: 10.37313/2782-6562-2024-3-3-13-23

EDN: OPMDPA

REFERENCE

1. Shevchenko, S.N. Regional’nye izmeneniya pogodnykh uslovii i ikh vliyaniye na sel’skokhozyaistvennoye proizvodstvo / S. N. Shevchenko, V. A. Korchagin, O. I. Goryanin // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2010. – No. 3. – S.10–12.
2. Solodovnikov, A.P. Obosnovaniye vliyaniya agrofizicheskikh faktorov i klimaticheskikh uslovii na urozhainost’ i kachestvo zerna ozimoi pshenitsy v Nizhnem Povolzh’e / A. P. Solodovnikov, D. A. Upolovnikov, A. S. Lin’kov i dr. // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. – 2022. – No. 4. – S. 48–52. – DOI: 10.28983/asj.y2022i4pp48-52
3. Romanenko, A. A. Novaya sortovaya politika i sortovaya agrOtehnika ozimoi pshenitsy / A. A. Romanenko, L. A. Bepalova, I. N. Kudryashov, I. B. Ablova. – Krasnodar. – 2005. – 224 s.
4. Oganyan, L.R. Agrotekhnologicheskaya ehffektivnost’ vozdeleyvaniya novykh sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Stavropol’skogo kraya / L. R. Oganyan, E. O. Shestakova, V. F. Eroshenko // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. – 2022. – No. 1. – S. 26–31. – DOI: 10.28983/asj.y2022i1pp26-31.
5. Sukhorukov, A. F. Seleksiya ozimoi pshenitsy na zasukhoustoichivost’ v Srednem Povolzh’e / A. F. Sukhorukov, A. A. Sukhorukov // Agrarnaya nauka. – 2017. – No. 5. – S. 15–18.
6. Goryanin, O. I. Vliyaniye klimata i pogodnykh uslovii na urozhainost’ zernovykh kul’tur v zasushlivykh usloviyakh Povolzh’ya / O. I. Goryanin // Zemledelie. – 2024. – No. 4. – S. 19–24. – DOI: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24
7. Johansson, E. Plant Breeding to Mitigate Climate Change-Present Status and Opportunities with an Assessment of Winter Wheat Cultivation in Northern Europe as an Example / Johansson E., Muneer F., Prade T. // Sustainability. – 2023. – V. 15. – No. 16. – 12349. – DOI: 10.3390/su151612349
8. Grabovets, A. I. Izmeneniye klimata i osobnosti seleksii ozimoi myagkoi pshenitsy na produktivnost’ i adaptivnost’ k nemu / A. I. Grabovets, M. A. Fomenko // Vestnik rossiiskoi sel’skokhozyaistvennoi nauki. – 2023. – No. 1. – S. 20–25. – DOI: 10.31857/2500-2082/2023/1/20-25
9. Zhuchenko, A. A. Ehkologicheskaya genetika kul’turnykh rastenii kak samostoyatel’naya nauchnaya distsiplina / A. A. Zhuchenko. – Krasnodar: ProsveshcheniE–Yug. – 2010. – 485 s.
10. Rybas’, I. A. Vliyaniye uslovii srede na formirovaniye urozhainosti sortov ozimoi pshenitsy / I. A. Rybas’, M. M. Ivanisov, D. M. Marchenko, A. V. Kirin // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. – 2024. – No. 2 (38). – S. 129–139. – DOI: 10.5281/zenodo.12200256
11. Dorokhov, B.A. Sovremennyye pogodnyye usloviya i ikh vozdeistvie na khozyaistvennyye pokazateli ozimoi pshenitsy / B.A. Dorokhov, N.M. Vasil’eva // Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. – 2019. – No. 11-2(38). – S. 106–111. – DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11762
12. Fomenko, M. A. Osobnosti transgressivnoi seleksii ozimoi pshenitsy v usloviyakh zasukh / M. A. Fomenko, A. I. Grabovets, T. A. Oleinikova, E. A. Zheleznyak // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2021. – T.35. – No. 5. – S.28–32. – DOI: 10.24411//0235-2451-2021-10504.

13. Sukhorukov, A. A. Sozdanie i otsenka sorta ozimoi pshenitsy Al'ternativa / A. A. Sukhorukov, N. Eh. Bugakova, D. O. Dolzhenko // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2022. – T. 36. – No. 12. – S. 40-44. – DOI: 10.53859/02352451_2022_36_12_40
14. Khangil'din V. V. Parametry otsenki gomeostatichnosti sortov i selektsionnykh linii v ispytaniyakh kolosovykh kul'tur / V. V. Khangil'din // Nauch. tekhn. byul. VSGI. – 1986. – No. 2/60. – S. 36-41.
15. Syukov, V. V. Metodologicheskie aspekty ehkologicheskoi selektsii yarovoi myagkoi pshenitsy / V. V. Syukov, M. I. Potushanskaya, V. G. Zakharov i dr. // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2002. – No. 10. – S. 29-32.
16. Lin, C. S. Stability Analysis: Where Do We Stand? / C. S. Lin, M. R. Binns, L. P. Lefkovitch // Crop Science. – 1986. – Vol. 26. – Is. 5. – P. 894-900. – DOI: 10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x
17. Kil'chevskii, A. V. Ehkologicheskaya selektsiya rastenii / A. V. Kil'chevskii, L. V. Khotyleva. – Minsk: Tehkhnalogiya, 1997. – 372 s.
18. Cheshkova, A. F. A Comparison of Statistical Methods for Assessing Winter Wheat Grain Yield Stability / A. F. Cheshkova, P. I. Stepanov, A. F. Aleynikov et al. // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. – 2020. – T. 24. – No. 3. – S. 267-275. – DOI: 10.18699/VJ20.619
19. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur / Pod redaktsiei M. A. Fedina. – M.: «Kolos», 1985. – 267 s.
20. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) / B. A. Dospekhov. – M.: «Kolos», 1979. – 415 s.
21. Package 'agrostab': Stability Analysis for Agricultural Research. Version: 0.1.0 / Anna Cheshkova. – URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/agrostab/index.html>, free access, (accessed 01.03.2024). Depends: R (≥ 3.1)
22. Cheshkova, A. F. Realizatsiya metodov otsenki stabil'nosti sortov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur v pakete funktsii agrostab programmnoi sredy R / A. F. Cheshkova, I. G. Grebennikova, A. F. Aleinikov, D. I. Chanyshev // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2020. – T. 34. – No. 7. – S. 91-96. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10716
23. R: A Language and Environment for Statistical Computing / R Core Team. – R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. – URL: <https://www.R-project.org> (accessed 01.03.2024).
24. Dragavtsev, V. A. Genetika priznakov produktivnosti yarovykh pshenits v Zapadnoi Sibiri / V. A. Dragavtsev, R. A. Tsil'ke, B. G. Reiter i dr. – Novosibirsk: Nauka, 1984. – 230 s.

Dmitry Dolzhenko, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Common Wheat Breeding and Genetics Department. E-mail: ddolzhenko75@yandex.ru
Diana Trutneva, Head of the Laboratory of Industrial Crops and Agroecological Trials. E-mail: trutnevadiana@gmail.com
Nadezhda Bugakova, Junior Researcher at the Common Wheat Breeding and Genetics Department. E-mail: bugakova1987@yandex.ru