

ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В СТЕПНОЙ ЗОНЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В. П. Кадушкина, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы, kadushkina1964@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6363-9352;

М. А. Фоменко, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, главный научный сотрудник, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5383-6863;

С. А. Коваленко, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства пшеницы, sa_kovalenko_83@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0726-7499;

О. В. Бирюкова, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371,

ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,
346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1;
e-mail: dzni@mail.ru

Цель исследований – оценка адаптивного потенциала четырех сортов и трех линий яровой твердой пшеницы селекции ФГБНУ ФРАНЦ за 2020–2023 гг. на основе результатов их испытания в степной зоне Ростовской области. Оценку экологической пластичности и стабильности сортов и линий определяли по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина, показатель гомеостатичности – по В. В. Хангильдину. Представлена оценка сортов и линий по урожайности, экологической стабильности, пластичности и технологических показателей зерна. Установлено, что в среднем урожайность по сортам и линиям составила 3,44 т/га, варьирование по годам – 1,81–4,72 т/га. Сорта Донская лазоревая и Вольнодонская золотистая сформировали максимальную среднюю урожайность по годам – 3,52 и 3,58 т/га. Они отличались наибольшей стабильностью и пластичностью, о чем свидетельствовали низкий коэффициент вариации (3,6 и 2,4 % соответственно) и наибольшая гомеостатичность (42,37 и 67,06). Выяснено, что Вольнодонская золотистая является сортом, сочетающим в себе высокие показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности ($b_1 = 1,08$; $S_1^2 = 0,016$; $\text{Hom} = 42,37$). У сорта Вольнодонская и у линий Горд. 4699/19, Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21 отмечали полное соответствие уровня урожайности изменению условий возделывания при коэффициенте регрессии $b_1 \leq 1$. Наибольшей стабильностью по урожайности отличалась линия Горд. 4699/19 ($S_1^2 = 0,007$). Коэффициент регрессии (b_1) составлял 0,93, гомеостатичность – 67,06, что свидетельствует также о ее высокой экологической пластичности. По содержанию белка в зерне практически все сорта и линии отвечали требованиям 1-го класса ГОСТ 9353-2016. Содержание клейковины варьировало в пределах от 20,0 до 25,5 % (2–4-й класс). На основании комплексной оценки по показателям урожайности и качества зерна, по параметрам адаптивности в условиях степной зоны Ростовской области выделены сорта Донская лазоревая, Вольнодонская золотистая и линия Горд. 4699/19, рекомендуемые для селекции на продуктивность и качество зерна.

Ключевые слова: яровая твердая пшеница, адаптивность, пластичность, стабильность, гомеостатичность.

Для цитирования: Кадушкина В. П., Фоменко М. А., Коваленко С. А., Бирюкова О. В. Параметры адаптивности и показатели качества яровой твердой пшеницы в степной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 97–104. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-97-104.



ADAPTABILITY PARAMETERS AND QUALITY INDICATORS OF SPRING DURUM WHEAT IN THE STEPPE PART OF THE ROSTOV REGION

V. P. Kadushkina, senior researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, kadushkina1964@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-6363-9352;

M. A. Fomenko, Doctor of Agricultural Sciences, head of the department of breeding and seed production of wheat and triticale, main researcher, fomenko.marina.1602@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5383-6863;

S. A. Kovalenko, researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, sa_kovalenko_83@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0726-7499;

O. V. Biryukova, senior researcher of the laboratory for wheat breeding and seed production, biryukova.22@bk.ru, ORCID ID: 0000-0001-8155-5371

FSBSI "Federal Rostov Agricultural Research Center",
346735, Rostov region, Aksay district, v. of Rassvet, Institutskaya Str., 1; e-mail: dzni@mail.ru

The purpose of the current study was to estimate the adaptive potential of four varieties and three lines of spring durum wheat developed by the FSBSI FRARC based on the results of their testing in the steppe part of the Rostov region in 2020–2023. The estimation of ecological adaptability and stability of the varieties and lines was conducted according to the method of S. A. Eberhart, W. A. Russell as presented by V. A. Zykina; homeostatic indicator was identified according to V. V. Khangildin. There has been presented an estimation of varieties and lines according to their productivity, environmental stability, adaptability, and technological indicators of grain. There was found that the mean pro-

ductivity of the varieties and lines was 3.44 t/ha, varying over the years from 1.81 to 4.72 t/ha. The varieties 'Donskaya lazorevaya' and 'Volnodonskaya zolotistaya' formed the maximum mean productivity over the years with 3.52 and 3.58 t/ha. They were characterized by the greatest stability and adaptability, with a low coefficient of variation (3.6 and 2.4 %, respectively) and the greatest homeostaticity (42.37 and 67.06). There was found out that 'Volnodonskaya zolotistaya' was a variety that combined high indicators of adaptability, stability and homeostaticity ($b_i = 1.08$; $S_i^2 = 0.016$; $\text{Hom} = 42.37$). The variety 'Volnodonskaya' and the lines 'Gord.4699/19', 'Gord.4924/20' and 'Gord.4465/21' were characterized by full compliance of the productivity level with changes in cultivation conditions with a regression coefficient $b_i \leq 1$. The line 'Gord.4699/19' was characterized by the greatest stability in productivity ($S_i^2 = 0.007$). The regression coefficient (b_i) was 0.93, homeostaticity was 67.06, which also indicated its high ecological adaptability. In terms of protein percentage in grain, almost all varieties and lines met the requirements of the 1st class of GOST 9353-2016. Gluten content varied from 20.0 to 25.5 % (the 2–4 class). According to the comprehensive estimation of productivity and grain quality, and adaptability parameters in the conditions of the steppe part of the Rostov region, there have been identified the varieties 'Donskaya lazorevaya', 'Volnodonskaya zolotistaya' and the line 'Gord.4699/19', recommended for breeding for productivity and grain quality.

Keywords: *spring durum wheat, adaptability, plasticity, stability, homeostaticity.*

Введение. Твердая пшеница в мире ежегодно выращивается на площади 17,0 млн га. Валовый объем ее производства составляет около 30–35 млн т в год. Среднегодовое производство зерна этой культуры в России – около 600–800 тыс. т, что составляет менее 2 % от общемирового производства (Богдан, 2023). По данным Национального союза селекционеров и семеноводов России (НССиС) площади, занимаемые яровой твердой пшеницей в Ростовской области, в 2020 г. составляли 10 тыс. га, валовой сбор – 18 тыс. т зерна. С развитием темпа роста предприятий по выпуску макаронных изделий и в связи с увеличивающейся потребностью в зерне твердой пшеницы в целом по стране возрастает необходимость увеличения ее производства в основных районах выращивания (Спиридонов и др., 2017).

На получение высокого урожая и качества зерна твердой пшеницы влияют такие факторы, как почвенная засуха, засоление, поражаемость болезнями и вредителями, недостаточная сумма эффективных температур за вегетационный период (Ляпунова и Андреева, 2020). Увеличение потенциала урожая пшеницы – фундаментально важная задача в селекционных программах. Высокая и стабильная урожайность может быть достигнута при сочетании в генотипе высокой потенциальной продуктивности и устойчивости к неблагоприятным экологическим факторам (Зыкин и др., 2000). Для сельскохозяйственного производства важно подобрать сорта, стабильные по урожайности и пригодные для возделывания в различных почвенно-климатических условиях региона. В благоприятных условиях преимущество следует отдавать сортам с высокой потенциальной продуктивностью, тогда как в неблагоприятных и экстремальных последняя должна сочетаться с достаточно высокой экологической устойчивостью (Жученко и Урсул, 1983). Сущность и механизм экологической пластичности приобретают первостепенное значение в реализации селекционных программ. Большое значение экологической пластичности придавали в своих исследованиях многие ведущие селекционеры (Сапега и Турсумбекова, 2020; Петров, 2020; Мальчиков и др., 2018; Богдан и др., 2023; Галушко и Соколенко, 2022; Рыбась и др., 2023).

Важнейшие задачи селекции заключаются в создании и внедрении в производство новых высокоурожайных, устойчивых к стрессовым условиям среды и с высоким качеством зерна сортов, адаптированных к условиям данного региона. Целью этой работы было оценить экологическую пластичность, стабильность и технологические показатели зерна сортов и новых линий яровой твердой пшеницы, созданных в ФГБНУ ФРАНЦ, выявить дальнейшую перспективу в селекции этой культуры в условиях степной зоны Ростовской области.

Материалы и методы исследований.

Экспериментальную работу проводили в течение 2020–2023 гг. в северо-западной сельскохозяйственной зоне Ростовской области ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр». Почва – чернозем среднесиловый южный карбонатный. Предшественник – просо. Климат региона умеренно континентальный засушливый.

В полевых опытах изучали четыре сорта и три линии яровой твердой пшеницы, высевавшихся в конкурсном сортоиспытании в течение 2020–2023 годов. В качестве стандарта использовали сорт Донская элегия. Агротехника проведения опыта общепринятая для северо-западной зоны Ростовской области. Площадь делянки 15,0 м², повторность 4-кратная, расположение делянок систематическое со смещением. Норма высева – 4,5 млн всхожих семян/га. Полевые исследования проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

В лабораторных условиях проводили биохимическую и технологическую оценку зерна: определяли натурную массу (ГОСТ 10840-2017), массу 1000 зерен (ГОСТ 12042-80), стекловидность (ГОСТ 10987-76), количество и качество клейковины (ГОСТ Р 54478-2011). Содержание белка в зерне определяли в фазу полной спелости на анализаторе зерна «INFRATEK 1241», определение числа падения – на автоматическом приборе фирмы «Falling Number 1400» (Швеция) по методу Хагберга–Пертена. Содержание каротиноидов определяли путем экстрагирования водонасыщенным бутанолом и последующим определением оптической плотности экстракта. При обработке данных использовали дисперсионный и вариационный анализ.

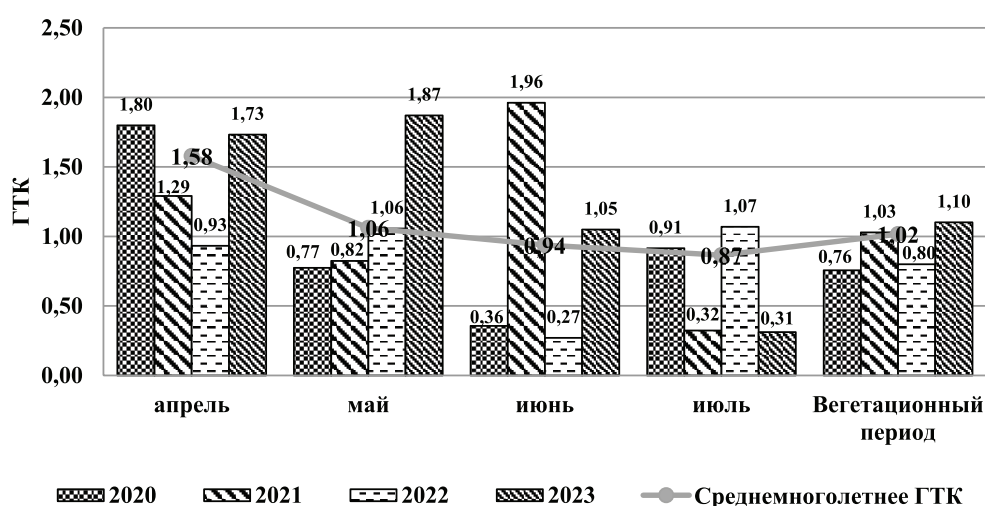
ционный анализ по Б.А. Доспехову (Доспехов, 2014), использовали программу статистической обработки данных «Excel 2007».

Для анализа адаптивного потенциала сортов и линий яровой пшеницы применяли методы, позволяющие оценить их пластичность и стабильность в условиях степной зоны Ростовской области: по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина (Зыкин и др., 2008) определены индекс условий среды, коэффициенты стабильности (S_i^2) и экологической пластичности (b_i); по методике В. В. Хангильдина (Хангильдин и Литвиненко, 1981) – показатель гомеостатичности (Hom).

Метеорологические условия за годы исследований в период вегетации яровой твердой пшеницы были контрастными. Это позволи-

ло оценить сорта и новые линии на адаптивность и устойчивость к стрессовым факторам. Оценку влагообеспеченности территории в годы исследований проводили по методике Г. Т. Селянинова. Разнообразие метеорологических условий 2020–2023 гг. по количеству осадков и температурному режиму способствовало полной и объективной оценке исследуемых сортов и линий яровой твердой пшеницы.

Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период за годы исследований варьировал от 0,76 (засушливо) в 2020 г. до 1,10 (недостаточное увлажнение) в 2023 г. (см. рисунок). Несколько иная картина наблюдалась по фазам развития растений по годам: ГТК был в пределах от 0,27 (экстремально засушливо) в 2022 г. до 1,96 (избыточно влажно) в 2021 году.



Уровень влагообеспеченности вегетационного периода яровой твердой пшеницы (2020–2023 гг.)
Moisture availability level during vegetation period of spring durum wheat (2020–2023)

Благоприятные условия для реализации потенциала продуктивности яровой твердой пшеницы сложились в 2023 году. Большое количество осадков в апреле, мае и июне в периоды от всходов и до колошения (ГТК 1,05–1,87) оказали позитивное влияние на закладку генеративных органов, на рост вегетативной массы растений яровой пшеницы. Период налива зерна и увеличение его массы проходили при высоких температурах воздуха и недостатке влаги в почве (ГТК 0,31), что способствовало быстрому созреванию зерна яровой пшеницы.

Метеорологические условия в 2020 г. были неблагоприятными для роста и развития растений яровой пшеницы. Фазы формирования зерновки и налива зерна характеризовались недостатком увлажнения и высокой температурой воздуха. Значение ГТК в этот период варьировало от 0,36 до 0,82 (очень засушливо).

В 2021 г. сложились относительно благоприятные условия для роста и развития

яровой пшеницы. Период формирования зерновки проходил при хорошем уровне влагообеспеченности (ГТК = 1,96), но недостаток влаги во второй период вегетации в фазу налива зерна (ГТК = 0,32) привел к снижению урожайности.

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия в годы исследований отличались нестабильностью в период вегетации, имели значительные различия и характеризовались как благоприятные, так и остро засушливые. Наиболее благоприятные погодные условия сложились в 2022 и в 2023 гг., индекс условий среды (I_i) составил 0,84, худшие условия отмечены в 2020 и в 2021 гг. ($I_i = -1,35; -0,33$). Средняя урожайность составила соответственно по годам 2,09; 3,10; 4,27 и 4,28 т/га (табл. 1). Разнообразные погодные условия позволили получить наиболее полную оценку по реакции сортов на изменение внешних факторов среды.

Таблица 1. Урожайность, экологическая пластичность и гомеостатичность сортов и линий яровой твердой пшеницы (2020–2023 гг.)

Table 1. Productivity, ecological adaptability and homeostaticity spring durum wheat varieties and lines (2020–2023)

Сорт, линия	Урожайность, т/га					C _v , %	b _i	S _i ²	Hom
	год испытания								
	2020	2021	2022	2023	среднее				
Донская элегия, st	1,81	3,34	4,23	4,21	3,40	7,27	1,06	0,061	19,31
Вольнодонская	2,05*	3,12	4,06	3,98	3,30	3,10	0,89	0,011	52,94
Донская лазоревая (Горд. 4193/17)	2,19*	2,89	4,72	4,27	3,52	9,01	1,09	0,101	15,42
Вольнодонская золотистая (Горд. 4685/19)	2,20*	3,08	4,46*	4,57*	3,58	3,56	1,08	0,016	42,37
Горд. 4699/19	2,12*	3,16	4,11	4,24	3,41	2,40	0,93	0,007	67,06
Горд. 4924/20	1,95	3,67*	3,92	4,36	3,48	13,66	0,93	0,225	10,56
Горд. 4465/21	2,32*	2,47	4,41	4,31	3,38	14,20	1,01	0,230	11,38
Среднее	2,09	3,10	4,27	4,28	3,44	—	—	—	—
НСР ₀₀₅	0,23	0,25	0,22	0,30	—	—	—	—	—
I _j	-1,35	-0,33	0,84	0,84	—	—	—	—	—

Примечание. * – достоверно на 5%-м уровне значимости.

Для оценки адаптивного потенциала сортов и линий яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Ростовской области определяли экологическую характеристику каждого генотипа. Признак, который учитывали при расчетах, – урожайность. Согласно методике S. A. Eberchart и W. A. Russel к показателям пластичности относят коэффициент линейной регрессии (b_i), который характеризует способность сорта отзываться на улучшение условий выращивания повышением продуктивности (Зыкин и др., 2008).

Среди изучаемого материала к сортам интенсивного типа следует отнести Донскую элегию (b_i = 1,06; S_i² = 0,061), Донскую лазоревую (Горд. 4193/17) (b_i = 1,09; S_i² = 0,101) и Вольнодонскую золотистую (Горд. 4685/19) (b_i = 1,08; S_i² = 0,016) (табл. 1). Урожайность у этих сортов и линий за годы исследований варьировала от 1,81 до 4,72 т/га.

Сорт Донская элегия изучали в экологическом сортоиспытании в условиях Юго-Востока ЦЧЗ (2013–2016 гг.) и в ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.Н. Чайки» в 2017–2021 гг. (Малокозова, 2019; Богдан и др., 2023). Он зарекомендовал себя как экологически пластичный сорт с высоким адаптивным потенциалом, имеющий стабильную урожайность. Донская элегия – сорт-стандарт по 6-му (Северо-Кавказскому) региону возделывания.

По результатам исследований в ФГБНУ ФРАНЦ он является сортом, сочетающим в себе высокие показатели пластичности и стабильности (b_i = 1,06; S_i² = 0,061). По элементам структуры урожая Донская элегия характеризовалась большим количеством зерен в колосе (18,4 шт.) и имела высокий индекс урожая (31,4 %) (табл. 2).

Таблица 2. Структура урожая сортов и линий яровой твердой пшеницы (2021–2023 гг.)

Table 2. Yield structure of the spring durum wheat varieties and lines (2021–2023)

Сорт, линия	Продуктивная кустистость, стебл./раст.	Масса зерна с 1 растения, г	Количество зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г	Индекс урожая, %
Донская элегия, st	1,2	1,04	18,4	38,8	31,4
Вольнодонская	2,1*	1,07	13,8	38,6	30,7
Донская лазоревая (Горд. 4193/17)	1,4	0,90	18,8	37,4	30,2
Вольнодонская золотистая (4685/19)	1,3	1,03	20,0	43,5*	32,8
Горд. 4699/19	1,7*	1,28	19,2	39,3	30,3
Горд. 4924/20	1,6*	1,03	16,6	38,6	30,3
Горд. 4465/21	1,7*	1,14	17,6	39,7	33,0
НСР ₀₀₅	0,20	0,26	2,6	2,15	2,35

Примечание. * – достоверно на 5 %-м уровне значимости.

У Горд. 4685/19 из представленного набора сортов и линий за четыре года испытаний была наибольшая урожайность в среднем по годам (3,58 т/га) и превысила стандарт на 0,18 т/га. Она создана в результате внутри- и межвидовой гибридизации с участием сортов отечественной селекции Вольнодонская, Новодонская, Степь 3, Тарасовская остистая и зарубежной –

Giorgio и Харьковская 7 с последующим индивидуальным отбором форм.

По результатам исследований она является линией, сочетающей в себе все три изучаемых признака: высокие показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности (b_i = 1,08; S_i² = 0,016; Hom = 42,37). По элементам структуры урожая линия Горд. 4685/19 ха-

рактировалась большим количеством зерен в колосе, чем у стандарта (20,0 и 18,4 шт. соответственно) и имела более высокий индекс урожая (32,8 % против 31,4 у стандарта). От представленных сортов и линий отличалась крупным зерном (масса 1000 зерен – 43,5 г), высокой озерненностью колоса и индексом урожая (табл. 2). В 2023 г. эта линия была передана на Госсортоиспытание под названием Вольнодонская золотистая.

Как и в предыдущие годы исследований, одним из лидеров по урожайности была линия Горд. 4193/17 (Кадушкина и др., 2020), которая была передана на Госсортоиспытание в 2022 г. под названием Донская лазоревая.

Средняя урожайность сорта Донская лазоревая в 2020–2023 гг. (в конкурсном сортоиспытании) в условиях Северного Дона составила 3,52 т/га (+0,12 т/га к стандарту Донская элегия) (табл. 1). Высокая урожайность у сорта Донская лазоревая была обусловлена большей, чем у стандарта, продуктивной кустистостью (1,4 против 1,20), количеством зерен в колосе (18,8 шт.), массой зерна с 1 растения (0,90 г) (табл. 2).

Исследования показали, что у сорта Вольнодонская и линий Горд. 4699/19, Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21 отмечено полное соответствие уровня урожайности изменению условий возделывания при коэффициенте регрессии $b_i \leq 1$. Они характеризовались достаточно высокой урожайностью, но слабой реакцией на улучшение условий среды и способны в жестких условиях формировать более высокий и качественный урожай зерна. Эти генотипы, несомненно, представляли определенный селекционный интерес. Отмечено, что при неблагоприятных условиях они меньше снижали показатели продуктивности, чем сорта интенсивного типа. Они характеризовались достаточно высокими показателями экологической пластичности ($b_i = 0,89; 0,93; 0,93$ и $1,01$ соответственно).

Наиболее стабильными по урожайности из этих генотипов были Вольнодонская и Горд. 4699/19 ($S_i^2 = 0,011$ и $0,007$ соответ-

ственно). Они имели наивысшую из представленных сортов гомеостатичность ($Hom = 52,94$ и $67,06$) и самый низкий коэффициент вариации (3,1 и 2,4). Эти два показателя в совокупности показывают устойчивость признака при изменении устойчивости среды. Они отражают способность генотипа свести к минимуму последствия неблагоприятных воздействий внешней среды в процессе формирования продуктивности. По структуре урожайности линия Горд. 4699/19 отличалась от других генотипов высокими показателями продуктивной кустистости (1,7 против 1,2 у стандарта), массой зерна с одного растения (1,28 г), массой 1000 зерен (39,3 г) и количеством зерен в колосе (19,2 шт.).

Урожайность у линий Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21 варьировала от 1,95 до 4,36 т/га и в среднем составила 3,48 и 3,38 т/га, превысив стандарт на 0,08 и 0,04 т/га соответственно. Эти линии имели высокий показатель экологической пластичности, но у них была отмечена большая вариабельность урожайности (13,66 и 14,2 % соответственно) и меньшая гомеостатичность – 10,56 и 11,38, что свидетельствует о нестабильности данных генотипов при возделывании в условиях степной зоны Ростовской области. По показателям структуры урожая линия Горд. 4465/21 характеризовалась высоким соотношением массы зерна с 1 м² к массе соломы (индекс урожая – 33,0 %), крупным зерном (масса 1000 зерен – 39,7 г) и высокой массой зерна с одного растения (1,14 г).

Из-за биологических особенностей яровой твердой пшеницы высококачественное зерно можно получить не во всех регионах России, характеризующихся различными почвенно-климатическими условиями. Для выяснения качества у представленных генотипов была проведена технологическая и биохимическая оценка.

По содержанию белка в зерне все сорта и линии отвечали требованиям 1-го класса ГОСТ 9353-2016, кроме линии Горд. 4465/21 (2-й класс). Содержание клейковины варьировало в пределах от 20,0 до 25,5 % (2–4-й класс) (табл. 3).

Таблица 3. Технологические и биохимические показатели сортов и линий яровой твердой пшеницы (2020–2023 гг.)
Table 3. Technological and biochemical indices of the spring durum wheat varieties and lines (2020–2023)

Показатель	Сорт						
	Донская элегия, st	Вольнодонская	Донская лазоревая (Горд. 4193/17)	Вольнодонская золотистая (4685/19)	Горд. 4699/19	Горд. 4924/20	Горд. 4465/21
Натура, г/л	790	815	790	800	805	805	810
Стекловидность, %	92,8	96,5	91,3	81,5	92,5	88,5	96,0
Содержание белка в зерне, %	14,1	14,6	14,0	13,8	14,5	14,1	13,4
Содержание клейковины в зерне, %	23,1	25,5	24,2	21,9	25,0	22,6	20,0
Содержание каротиноидов, мкг %	295	374	295	388	316	350	323
Число падения, с	432	469	413	487	469	422	457

Примечание. $НСР_{05}$ – содержание белка – 0,35 %, содержание клейковины – 1,1 %.

По показателю натуры зерна наибольшую имели сорт Вольнодонская и линия Горд. 4465/21 – 815 и 810 г/л соответственно (у стандарта 790 г/л). Вольнодонская в среднем за 2020–2023 гг. отличалась высокостекловидным зерном с содержанием белка 14,6 % и клейковины 25,5 %.

Линия Горд. 4699/19 также характеризовалась высоким содержанием белка в зерне, соответствующим 1-му классу, и клейковины 2-го класса (14,5 и 25,0 % соответственно).

Высокое содержание каротиноидов выявлено у сортов Вольнодонская, Вольнодонская золотистая и линии Горд. 4924/20 (350–388 мкг%, у стандарта 295 мкг%).

Устойчивостью к прорастанию зерна на корню характеризовались все изученные сорта и линии. Наибольшей устойчивостью отличались сорта Вольнодонская, Вольнодонская золотистая, и линии Горд. 4699/19, Горд. 4465/21. Число падения у них составляло 457–487 с (у стандарта 432 с).

Полученные данные подтверждают возможность получения высококачественного зерна яровой твердой пшеницы в условиях степной зоны Ростовской области.

Выводы. В результате проведенных исследований отмечено значительное влияние условий выращивания на урожайность яровой твердой пшеницы. Донская элегия является сортом, сочетающим в себе высокие показатели пластичности и стабильности ($b_1 = 1,06$; $S_1^2 = 0,061$). Вольнодонская золотистая – сорт, который сочетал в себе высокие показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности ($b_1 = 1,08$; $S_1^2 = 0,016$; $\text{Ном} = 42,37$). К генотипам с высокой экологической пластичностью относились также Вольнодонская, Горд. 4699/19, Горд. 4924/20 и Горд. 4465/21, у которых отмечено полное соответствие уровня урожайности изменению условий возделывания при коэффициенте регрессии $b_1 \leq 1$. Это генотипы экстенсивного типа. Наиболее стабильной по урожайности из представленных линий была Горд. 4699/19 ($S_1^2 = 0,007$). Она имела наивысшую из представленных генотипов гомеостатичность

($\text{Ном} = 67,06$) и самый низкий коэффициент вариации (2,4). Высокие показатели качества зерна отмечены у сорта Вольнодонская и линий Горд. 4699/19, Горд. 4465/21. По содержанию белка в зерне все изученные сорта и линии отвечали требованиям 1 и 2-го класса ГОСТ 9353-2016. Содержание клейковины варьировало в пределах от 20,0 до 25,5 % (2–4-й класс). Полученные данные по оценке параметров адаптивности позволили отобрать генотипы, которые формируют стабильный урожай зерна с единицы площади для условий степной зоны Ростовской области. Высокий адаптивный потенциал выявлен у сортов Донская лазоревая, Вольнодонская золотистая и у линии Горд. 4699/19. Они способны формировать стабильно высокий уровень урожайности в различных климатических условиях.

По оценке экспертов, к 2025 г. потребление макаронных изделий в России возрастет до 1,5 млн тонн. Рост потребления макаронных изделий обусловлен их высокими потребительскими свойствами, вкусовыми достоинствами, питательностью и простотой приготовления. Данная продукция удобна и тем, что может сохранять свои качества длительное время (по ГОСТ Р 51865-2002 в течение 24 месяцев) без ощутимого ухудшения вкуса или питательных веществ. В настоящее время во всем мире наблюдается тенденция перехода на здоровое и диетическое питание. В связи с этим возросла покупательская способность высококачественных продуктов – мультизерновых хлебных изделий и круп, макаронных изделий группы А и др. Поэтому со стороны макаронной промышленности наблюдается повышение спроса на высококачественное зерно (Михайлова и др., 2023). Следовательно, выведение новых сортов яровой твердой пшеницы, способных сохранять высокий уровень урожайности в неблагоприятных условиях среды и имеющих высококачественное зерно, является очень актуальным направлением в возделывании этой культуры. Выделенные сорта и линии рекомендуются для селекции на продуктивность и качество зерна.

Библиографические ссылки

1. Богдан П. М., Клыков А. Г., Коновалова И. В., Кузьменко Н. В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) в условиях Приморского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184, № 1. С. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Галушко Н. А., Соколенко Н. И. Адаптивность сортов озимой пшеницы, возделываемых в условиях Северо-Кавказского региона // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 5. С. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50
3. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и дополн. М.: Альянс, 2014. 351 с.
4. Жученко А., Урсул А. Стратегия адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства: Роль науки в повышении эффективности растениеводства. Кишинев: Штиинца, 1983. 304 с.
5. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнева С. П. Методики расчета экологической пластичности сельскохозяйственных растений по дисциплине «Экологическая генетика». Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2008. 37 с.
6. Кадушкина В. П., Грабовец А. И., Коваленко С. А. Экологическая пластичность и продуктивность сортов и линий яровой твердой пшеницы в условиях Дона // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2020. № 4(84). С. 34–38.
7. Ляпунова О. А., Андреева А. С. Сорта и линии, пополнявшие генофонд твердой пшеницы ВИР в 2000–2019 гг. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181(1), С. 7–16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16

8. Малокостова, Е. И. Результаты изучения экологической адаптивности и стабильности сортов яровой твердой пшеницы в условиях Юго-Востока ЦЧЗ // Вестник Уральской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 4. С. 66–69. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42
9. Мальчиков П. Н., Розова М. А., Моргунов А. И., Мясникова М. Г., Зеленский Ю. И. Величина и стабильность урожайности современного селекционного материала яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) из России и Казахстана // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 8. С. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436
10. Михайлова О. П., Сулейменова С. Б., Ефименко Д. В. Перспективы возделывания твердой пшеницы в России // Исследования молодых ученых: материалы LIX Международной науч. конф. (г. Казань, апрель 2023 г.). Казань: Молодой ученый, 2023. С. 35–41.
11. Петров, Л. К. Оценка урожайности, экологической стабильности и пластичности сортов озимой пшеницы в условиях Нижегородской области // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 3. С. 6–9. DOI: 10.31857/S2500262720030023
12. Рыбась И. А., Иванисов М. М., Марченко Д. М., Киринов А. В., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю., Ивченко Н. А. Оценка параметров адаптивности сортов озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73
13. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и яровой твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 2. С. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
14. Спиридонов Ю. Я., Будынов Н. И., Бойко А. П., Стрижков Н. И., Критская Е. Е. Технология возделывания яровой твердой пшеницы с применением препаратов Секатор турбо, Баритон, Фалькон, Нагро и других. // Аграрный научный журнал. 2017. № 3. С. 30–36.
15. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. Одесса, 1981. Вып. 1 (39). С. 8–14.
16. Экология пшеницы: монография / В. А. Зыкин, В. П. Шаманин, И. А. Белан. Омск: ОмГАУ, 2000. 124 с.

References

1. Bogdan P. M., Klykov A. G., Konovalova I. V., Kuz'menko N. V. Adaptivnyi potentsial yarovoi tvrdoi pshenitsy (*Triticum durum* Desf.) v usloviyakh Primorskogo kraia [Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in the Primorsky Krai] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2023. T. 184, № 1. S. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Galushko N. A., Sokolenko N. I. Adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy, vozdeleyvaemykh v usloviyakh Severo-Kavkazskogo regiona [Adaptability of winter wheat varieties cultivated in the North Caucasus region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022. T. 36, № 5. S. 50–54. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_5_50
3. Dospekhov, B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dopoln. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
4. Zhuchenko A., Ursul A. Strategiya adaptivnoi intensivatsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva: Rol' nauki v povyshenii effektivnosti rastenievodstva [Strategy for adaptive intensification of agricultural production: The role of science in increasing crop production efficiency]. Kishinev: Shtiintsa, 1983. 304 s.
5. Zykina V. A., Belan I. A., Yusov V. S., Korneva S. P. Metodiki rascheta ekologicheskoi plastichnosti sel'skokhozyaistvennykh rastenii po distsipline «Ekologicheskaya genetika» [Methods for calculating the ecological adaptability of agricultural plants in the discipline "Ecological Genetics"]. Omsk: Izd-vo FGOU VPO OmGAU, 2008. 37 s.
6. Kadushkina V. P., Grabovets A. I., Kovalenko S. A. Ekologicheskaya plastichnost' i produktivnost' sortov i linii yarovoi tvrdoi pshenitsy v usloviyakh Dona [Ecological adaptability and productivity of spring durum wheat varieties and lines in the Don area] // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 4(84). S. 34–38.
7. Lyapunova O. A., Andreeva A. S. Sorta i linii, popolnivshie genofond tvrdoi pshenitsy VIR v 2000–2019 gg. [Varieties and lines that replenished the durum wheat gene pool of VIR in 2000–2019] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2020. T. 181(1), S. 7–16. DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-7-16
8. Malokostova, E. I. Rezul'taty izucheniya ekologicheskoi adaptivnosti i stabil'nosti sortov yarovoi tvrdoi pshenitsy v usloviyakh Yugo-Vostoka TsChZ [Study results of the ecological adaptability and stability of spring durum wheat varieties in the South-East of the Central Blackearth Zone] // Vestnik Ural'skoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2019. № 4. S. 66–69. DOI: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42
9. Mal'chikov P. N., Rozova M. A., Morgunov A. I., Myasnikova M. G., Zelenskii Yu. I. Velichina i stabil'nost' urozhainosti sovremennogo selektsionnogo materiala yarovoi tvrdoi pshenitsy (*Triticum durum* Desf.) iz Rossii i Kazakhstana [The magnitude and stability of productivity of modern breeding material of spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) from Russia and Kazakhstan] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. T. 22, № 8. S. 939–950. DOI: 10.18699/VJ18.436
10. Mikhailova O. P., Suleimenova S. B., Efimenko D. V. Perspektivy vozdeleyvaniya tvrdoi pshenitsy v Rossii [Prospects for durum wheat cultivation in Russia] // Issledovaniya molodykh uchenykh: materialy LIX Mezhdunar. nauch. konf. (g. Kazan', aprel' 2023 g.). Kazan': Molodoi uchenyi, 2023. S. 35–41.
11. Petrov, L. K. Otsenka urozhainosti, ekologicheskoi stabil'nosti i plastichnosti sortov ozimoi pshenitsy v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti [Estimation of productivity, environmental stability, and adaptability of winter wheat varieties in the Nizhny Novgorod region] // Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka. 2020. № 3. S. 6–9. DOI: 10.31857/S2500262720030023

12. Rybas' I. A., Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kirin A. V., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu. Yu., Ivzhenko N. A. Otsenka parametrov adaptivnosti sortov ozimoi pshenitsy v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Estimation of adaptability parameters of winter wheat varieties in the southern part of the Rostov region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. T. 15, № 6. S. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73
13. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Urozhainost', ekologicheskaya plastichnost' i stabil'nost' sortov yarovoi myagkoi i yarovoi tverdoi pshenitsy v yuzhnoi lesostepi Tyumenskoi oblasti [Productivity, ecological adaptability, and stability of spring common and durum wheat varieties in the southern forest-steppe of the Tyumen region] // *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2020. T. 21, № 2. S. 114–123. DOI: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123
14. Spiridonov Yu. Ya., Budynkov N. I., Boiko A. P., Strizhkov N. I., Kritskaya E. E. Tekhnologiya vozdevlyaniya yarovoi tverdoi pshenitsy s primeneniem preparatov Sekator turbo, Bariton, Fal'kon, Nagro i drugikh [Technology of spring durum wheat cultivation using the preparations 'Sekator Turbo', 'Bariton', 'Falcon', 'Nagro' and others] // *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*. 2017. № 3. S. 30–36.
15. Khangil'din V. V., Litvinenko N. A. Gomeostatichnost' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties] // *Byulleten' Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta*. Odessa, 1981. Vyp. 1(39). S. 8–14.
16. *Ekologiya pshenitsy: monografiya* [Ecology of wheat: Monograph] / V. A. Zykin, V. P. Shamanin, I. A. Belan. Omsk: OmGAU, 2000. 124 s.

Поступила: 06.05.24; доработана после рецензирования: 25.07.24; принята к публикации: 29.07.24.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кадушкина В. П. – концептуализация исследований, подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Фоменко М. А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Коваленко С. А. – подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных, анализ данных и их интерпретация; Бирюкова О. В. – выполнение полевых и лабораторных опытов, сбор данных, анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.