



Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана

М. У. Утебаев¹, Т. В. Шелаева¹, Н. А. Боме², И. В. Чилимова¹,
О. О. Крадецкая¹, С. М. Дашкевич¹, В. В. Новохатин³, Л. И. Вайсфельд⁴

¹ Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, Шортанды-1, Казахстан

² Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

³ Федеральный Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья, Тюменская область, Россия

⁴ Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марал Уралович Утебаев, phytochem@yandex.ru

Актуальность. В современных условиях изменения климата особенно важно изучение экологической пластичности сортов зерновых культур, в частности пшеницы. Цель работы – сравнительный анализ качества зерна, муки и хлеба сортов пшеницы российской селекции, выращенных в условиях Северного Казахстана.

Материалы и методы. Объектом исследования служили 15 сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья (г. Тюмень, Россия). Посевы проведены в 2019 и 2020 г., на полевом стационаре НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева (п. Шортанды-1, Северный Казахстан), расположенном в подзоне засушливой степи. Качество зерна оценивали по содержанию белка, клейковины и ее качеству, которое определяли на приборе Инфра-Люм ФТ-10; физическим свойствам теста на альвеографе и фаринографе и хлебопекарным свойствам муки, выявляемым методом пробных выпечек.

Результаты. Лабораторная выпечка хлеба показала, что хлебопекарные свойства муки российских сортов соответствуют «сильной» пшенице. Значительное превышение объема хлеба по сравнению с сортом-стандартом 'Целинная юбилейная' отмечено у сортов 'Тюменская 29' (768 мл), 'Тюменец 2' (756 мл), 'Серебряна' (739 мл). По качеству клейковины шесть из 15 (40%) сибирских сортов можно отнести к высшему классу в условиях Северного Казахстана. Результаты оценки зерна и теста показали, что российские сорта пшеницы формируют качественное зерно в экстремальных условиях Северного Казахстана при том, что они созданы в регионе с достаточной влагообеспеченностью и другим типом почвы. Выделенные сорта с высоким качеством зерна могут стать основой для создания новых высококачественных сортов и селекционных линий в условиях Северного Казахстана.

Ключевые слова: селекция, мягкая пшеница, клейковина, хлебопекарное качество, урожайность

Благодарности: работа выполнена при поддержке бюджетной программы Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан: BR10764908 «Разработать систему земледелия возделывания сельскохозяйственных культур (зерновых, зернобобовых, масличных и технических культур) с применением элементов технологии возделывания, дифференцированного питания, средств защиты растений и техники для рентабельного производства на основе сравнительного исследования различных технологий возделывания для регионов Казахстана» и Проекта Министерства образования и науки Российской Федерации «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Зауралья».

Авторы благодарят Ю. Н. Шаврукова, старшего преподавателя Колледжа науки и инженерии Университета Флиндерс (Аделаида, Австралия) за ценные комментарии при работе над данной статьей.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Утебаев М.У., Шелаева Т.В., Боме Н.А., Чилимова И.В., Крадецкая О.О., Дашкевич С.М., Новохатин В.В., Вайсфельд Л.И. Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):27-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38

Grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars developed in Western Siberia under the conditions of Northern Kazakhstan

Maral U. Utebayev¹, Tatyana V. Shelaeva¹, Nina A. Bome², Irina V. Chilimova¹,
Oksana O. Kradetskaya¹, Svetlana M. Dashkevich¹, Vladimir V. Novokhatin³, Larisa I. Weisfeld⁴

¹A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, Shortandy-1, Kazakhstan

²University of Tyumen, Tyumen, Russia

³Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, Tyumen Province, Russia

⁴Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Corresponding author: Maral U. Utebayev, phytochem@yandex.ru

Background. Environmental testing is the first stage of wheat breeding, the purpose of which is to identify wheat samples suitable for local environments and capable of forming a fairly stable yield and high-quality grain. The proposed study presents the test results for spring bread wheat cultivars of Russian breeding grown in arid environments of Northern Kazakhstan in order to preserve their yield and baking qualities.

Materials and methods. The material of the study included 15 spring bread wheat cultivars. Protein and gluten content and the quality of gluten were determined using an infrared analyzer; the physical properties of the test were assessed using a Chopin alveograph and Brabender farinograph.

Results. As a result of biochemical assessment, increased protein and gluten content and grain weight were observed in cvs. 'Tyumenskaya 30', 'Aviada', 'Lutescens 585', 'Serebrina', and 'Tyumenets 2'. Dough deformation energy (W) characteristic of high-quality wheat and the balance in the P/L ratio (elasticity/elongation) were shown by cvs. 'Tyumenskaya 33' (290 a.u.; 1.15 P/L), 'SKENT-3' (307 a.u.; 0.89 P/L), and 'Lutescens 585' (374 a.u., 1.10 P/L). In laboratory baking, the volume of bread ranged from 620 ml ('Tyumenskaya 27') to 768 ml ('Tyumenskaya 29') with an average value of 707 ml. A baking quality analysis of the cultivars grown in the Northern Trans-Urals and Northern Kazakhstan demonstrated that the conditions in Northern Kazakhstan were more favorable for obtaining bread with an increased volume. On the basis of environmental tests and an assessment of a set of biochemical and technological indicators, cvs. 'SKENT-3' and 'Tyumenskaya 29' were selected. It makes sense to continue studying wheat cultivars that can be sources and donors of high-quality grain for the development of cultivars for the arid steppe of Northern Kazakhstan.

Keywords: bread-making quality, bread wheat, gluten, yield, wheat breeding

Acknowledgements: this study had financial support from the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan: BR10764908 "To develop an agriculture system for the cultivation of agricultural crops (cereals, legumes, oilseeds and industrial crops) with the use of cultivation technology elements, differentiated nutrition, plant protection products and equipment for cost-effective production based on a comparative study of various cultivation technologies for the regions of Kazakhstan", and the Project of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation "Adaptability of agricultural plants under the extreme conditions of the Northern Trans-Urals".

The authors are grateful to Dr. Yu. N. Shavrukov, Senior Lecturer, College of Science and Engineering at Flinders University (Adelaide, Australia), for his valuable comments while working on this article.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Utebayev M.U., Shelaeva T.V., Bome N.A., Chilimova I.V., Kradetskaya O.O., Dashkevich S.M., Novokhatin V.V., Weisfeld L.I. Grain quality of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars developed in Western Siberia under the conditions of Northern Kazakhstan. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):27-38. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-27-38

Введение

Приоритетные задачи селекции пшеницы – получение новых сортов, сочетающих в себе высокую урожайность, устойчивость к внешним стресс-факторам и отличное качество зерна. Первый этап селекции заключается в экологическом сортоиспытании (ЭСИ), результатом которого является выявление сортов, способных формировать достаточно стабильный урожай и качественное зерно в различных агроклиматических условиях. Материалом для экологического испытания чаще всего служат сорта пшеницы из коллекций различных селекционных и научно-исследовательских учреждений. Стоит отметить, что тщательное изучение материала из коллекций генетических ресурсов растений (*2nd G – Germplasm Characterization*) по комплексу хозяйственно ценных признаков является одним из пунктов предлагаемой стратегии *5Gs for Crop Genetic Improvement* для селекции сельскохозяйственных культур (Varshney et al., 2020). Лучшие по результатам ЭСИ сорта включают в селекционный процесс для создания новых селекционных линий, адаптированных к конкретным условиям и обладающих комплексом ценных показателей, таких как продуктивность, качество зерна, устойчивость к биотическим и абиотическим факторам.

Известно, что хлебопекарное качество зерна пшеницы контролируется различными группами генов (Goel et al., 2019; Dhakal et al., 2021). При этом необходимо учитывать, что факторы внешней среды, такие как уровень осадков, тип почвы, различные вредители, болезни и применение тех или иных агротехнологий, играют значительную роль в формировании качества зерна (Karlin, Shagarova, 2017; Ernst et al., 2018; Walsh et al., 2020). Другими словами, качество зерна зависит от генотипа сорта, его устойчивости и отзывчивости к внешним воздействиям окружающей среды и применяемых человеком агротехнологий.

Качество зерна пшеницы характеризуется рядом биохимических, физических и технологических показателей. Определение всех показателей существенно увеличивает объем биохимических и технологических анализов, и зачастую их проведение не всегда целесообразно.

Поэтому в процессе селекции приходится ориентироваться на характеристики зерна, которые несут информацию, необходимую для проведения отбора, как, например, содержание протеина и натурная масса зерна, стекловидность, физические свойства теста, хлебопекарная оценка и т. д. (Methodology of state..., 1988). Учитывая, что продукты переработки зерна пшеницы входят в основной рацион питания человека, в конечном итоге под качеством зерна подразумевается его пищевая ценность.

Цель настоящей работы состояла в проведении полной биохимической и технологической оценки зерна сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья и выделение из них лучших сортов, формирующих качественное зерно и стабильную урожайность в условиях Северного Казахстана.

Материалы и методы

Объектом исследования служили 15 сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья (г. Тюмень, Россия). Посевы проводили в 2019 и 2020 г. на полевом стационаре лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы Научно-производственного центра зернового хозяйства им. А.И. Бараева (НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева, п. Шортанды-1, Республика Казахстан), расположенном в подзоне засушливой степи, почва – южно-карбонатный чернозем. Для сравнения использовали сорта-стандарты, принятые в условиях Северного Казахстана: 'Астана' (среднеранний тип созревания), 'Акмола 2' (среднепоздний тип созревания) и 'Целинная юбилейная' (среднепоздний тип созревания). Биохимическую и технологическую оценку проводили в лаборатории биохимии и технологической оценки качества сельскохозяйственных культур НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева.

Метеорологические условия

По данным Шортандинской метеостанции, 2019 и 2020 г. в целом характеризовались благоприятными условиями для роста и развития пшеницы и формирования качественного зерна. Однако в течение вегетационных периодов температурный режим отличался неустойчивостью, а выпавшие атмосферные осадки – неравномерностью распределения их по месяцам и декадам (рис. 1).

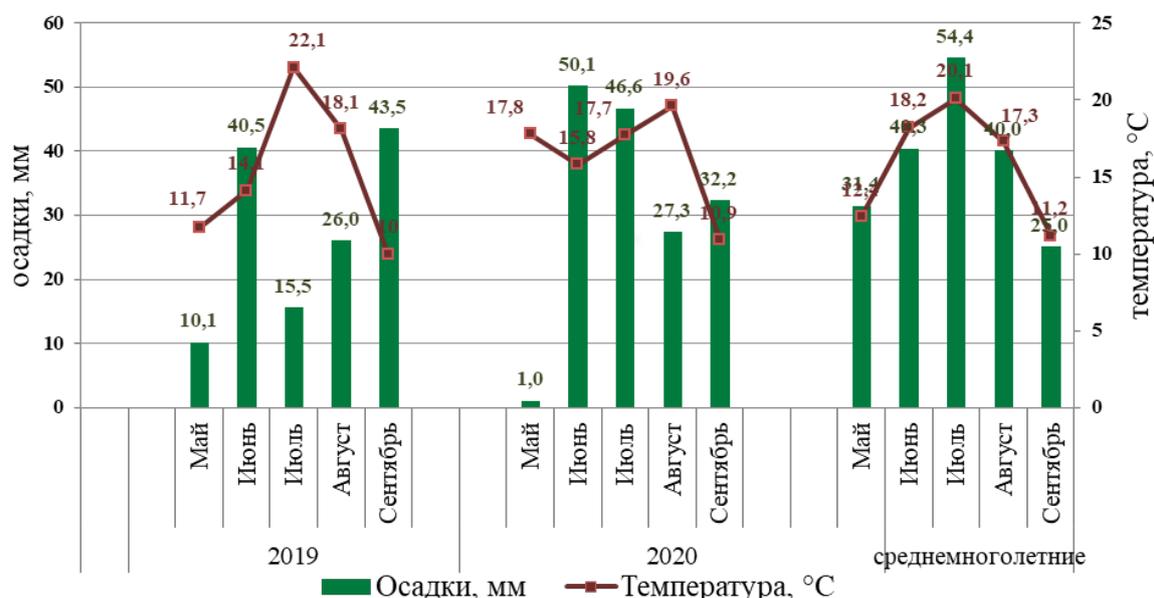


Рис. 1. Климатограмма вегетационного периода в условиях Северного Казахстана, 2019–2020 гг.

Fig. 1. Precipitation and temperature levels during the growing season in Northern Kazakhstan, 2019–2020

Количество осадков в период с мая по сентябрь составило в 2019 г. 135,6 мм, в 2020 г. – 157,2 мм, при средних многолетних данных – 191,1 мм. Среднесуточная температура воздуха в 2019 г. в период с мая по сентябрь составляла 15,2°C, в 2020 г. – 16,4°C, при среднемноголетней норме – 15,8°C.

Биохимическая и технологическая оценка

Муку получали с помощью лабораторной мукомольной мельницы CD-1 (Chopin Technologies, Франция), а шрот для биохимического анализа – на мельнице LM 3100 (Pertin Instruments, Швеция). Содержание белка, клейковины и индекс деформации клейковины (ед. ИДК) определяли на ИК-анализаторе Инфра-Люм ФТ-10 («Люмекс», Россия), натурную массу зерна – на пурке ПХ-1 (Россия) с падающим грузом, объемом 1 л, стекловидность – на диафаноскопе ДСЗ-2 (Россия) согласно прилагаемым инструкциям. Физические свойства теста – такие показатели, как энергия деформации теста (*W*), отношение *P/L* (упругость/растяжимость), водопоглощительная способность (ВПС) и валориметрическая оценка – определяли на альвеограф-консистографе NG (Chopin Technologies, Франция) и фаринографе (Brabender GmbH, Германия) (Fomina et al., 2001). Для хлебопекарной оценки использовали метод пробных лабораторных выпечек формового и подового хлеба из 100 г муки (Methodology of state..., 1988).

Статистический анализ

Математическую и статистическую обработку полученных результатов проводили по формулам дисперсионного и корреляционного анализов (Dospikhov, 1985) в программе Excell (Microsoft, США), а для кластеризации образцов использовали пакет программ Statistica 6.0 (StatSoft).

Результаты и обсуждение

На основе биохимической и технологической оценки качественных показателей зерна яровой мягкой пшеницы получены результаты, представленные в таблице 1.

Большинство изученных сортов отнесены к среднепозднему типу созревания. Только два сорта характеризовались как среднеспелые: «Тюменская 30» и «Тюменская 33», вегетационный период которых составил 90 дней.

Средняя урожайность изученных российских сортов за 2019–2020 гг. была 18,2 ц/га, что, вероятно, связано с тем, что в 2019 и 2020 г. наблюдалось неравномерное выпадение осадков и повышенный температурный фон, а также сортам необходимо было адаптироваться к нехарактерным для себя почвенно-климатическим условиям.

Однако засушливые условия могут способствовать повышению качественных показателей зерна и муки (Randall, Moss, 1990; Öztürk, Aydin, 2004). Например, масса 1000 зерен характеризует его крупность. Соответственно, чем крупнее и плотнее зерно, тем больше выход муки и крупы. В результате по данному показателю достоверное превышение над стандартами зафиксировано для сортов «Рикс», «Серебряна», «Икар» и «Тюменец 2». Варьирование признака в изученной выборке составило от 33,2 г («Тюменская 27») до 39,1 г («Рикс») при среднем значении – 35,6 г, без учета сортов-стандартов.

Питательная ценность зерна связана с содержанием белка, накопление которого зависит от температуры окружающей среды (Öztürk, Aydin, 2004). В изучаемой выборке среднее содержание белка составило 16,5% при разбросе признака от 15,7% («Тюменская 29») до 17,9%

(«Тюменская 32»). Достоверное превышение над стандартами по содержанию белка зафиксировано у «Тюменская 33» (17,5%) из группы среднеспелых сортов. В группе среднепоздних сортов выделились «Лютесценс 585» (17,6%), «СКЭНТ-3» (16,7%), «Тюменец 2» (16,7%), «Тюменская 27» (17,3%) и «Тюменская 32» (17,9%).

Качество зерна и готовой продукции зависит от клейковины. Установлено, что увеличение содержания клейковины в зерне наблюдается при внесении азотных удобрений при дефиците воды – засухе (Liu et al., 2021). Среднее содержание клейковины составило 33,7% при минимуме и максимуме: 31,7% («Тюменская 29») и 37,0% («Лютесценс 585») соответственно. Однако следует отметить, что высокое накопление клейковины в зерне не гарантирует получение качественной готовой продукции. Более важным критерием является индекс деформации клейковины (ИДК), который по казахстанскому стандарту для «сильной» пшеницы должен находиться в пределах 45–75 ед. – для высшего класса и 45–80 ед. – для I и II классов (ST RK 1046-2008..., 2008). В российском стандарте ИДК от 43 до 77 ед. соответствует I и II классу (GOST 9353-2016..., 2019). На основе казахстанского стандарта (ST RK 1046-2008..., 2008) к высшему классу можно отнести шесть из 15 сортов, что составляет 40%. Оставшиеся образцы отнесены к первому классу, за исключением «Лютесценс 585» (82 ед. ИДК), «Тюменская 27» (82 ед. ИДК) и «Тюменская 33» (84 ед. ИДК), качество клейковины которых соответствовало третьему классу. По российскому стандарту (GOST 9353-2016..., 2019) к I классу по содержанию и качеству клейковины отнесено 80% сортов (12 из 15 сортов).

Зерно с повышенной натурной массой содержит больше эндосперма и меньше оболочек и, соответственно, дает больший выход муки. Как оказалось, на показатель «натура зерна» могут влиять агротехнические приемы выращивания пшеницы (Iqbal et al., 2007). С другой стороны, снижение натуры зерна и, соответственно, ухудшение его качества может быть связано с задержкой уборки из-за выпадения осадков (Farrer et al., 2006). Установлено, что натурная масса зерна пшеницы отрицательно коррелирует с содержанием белка (Farrer et al., 2006). По результатам наших исследований, действительно, наблюдалась отрицательная корреляция $r = -0,22$. Стоит отметить, что такая же закономерность выявлена у овса (Holland, Munkvold, 2001), кукурузы (Miao et al., 2007) и ячменя (Das et al., 2007).

Среднее значение натуры зерна у изученных сортов составило 790 г/л при размахе значения от 780 г/л («Тюменская 32») до 802 г/л («Тюменец 2»). Достоверное превышение над стандартами наблюдали у сортов «Тюменская 30» (801 г/л), «Авиада» (800 г/л), «Икар» (799 г/л) и «Тюменец 2» (802 г/л).

Стекловидность, как натура и масса 1000 зерен, имеет значение при оценке мукомольных характеристик. Чем выше стекловидность, тем больше выход муки высокого качества. По результатам проведенных анализов, среднее значение стекловидности зерна оказалось на уровне 54%, что соответствует II классу (GOST 9353-2016..., 2019). Максимальное значение стекловидности зерна (61%) отмечено у сорта «Серебряна», а минимальное (49%) – у «Аделина» и «Тюменская 31».

Дополнительно проведен сравнительный анализ полученных данных с результатами оценки зерна четырех сортов («Тюменская 25», «Тюменская 29», «Икар» и «Авиада», урожай 2019 и 2020 г.), выращенных в условиях Северного Зауралья. Как оказалось, метеорологи-

Таблица 1. Показатели качества зерна и урожайность сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья, выращенных в условиях Северного Казахстана (урожай 2019–2020 гг.)

Table 1. Grain quality indicators and yield of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, grown (harvested in 2019–2020) in Northern Kazakhstan

Сорт / Cultivar	Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	Содержание протеина, % / Protein content, %	Клейковина / Gluten		Нагура зерна, г/л / Grain test weight, g/l	Стекловидность, % / Vitreousness, %	Урожайность, ц/га / Yield, 100 kg/ha
			Содержание, % / Content, %	Качество, ед. ИДК / Quality, GDI units			
Среднеспелый тип созревания							
Акмолла 2 (St)	34,1	15,7	31,2	73	782	55	23
Тюменская 30	35,3	16,2	33,1	77	801	57	16
Тюменская 33	33,3	17,5	36,4	84	781	55	15
Среднепоздний тип созревания							
Целинная юбилейная (St)	34,0	15,6	31,6	73	785	61	24
Авиада	36,2	16,1	32,1	75	800	56	23
Аделина	34,7	15,9	32,4	74	792	49	21
Икар	36,7	16,4	33,5	74	799	55	20
Лютесценс 585	34,4	17,6	37,0	82	785	54	14
Рикс	39,1	16,1	32,8	76	788	57	20
Серебряна	38,8	15,9	31,8	74	796	61	21
СКЭНТ-3	36,1	16,7	33,9	79	792	52	22
Тюменец 2	36,6	16,7	33,9	79	802	55	17
Тюменская 25	34,7	16,2	32,7	79	785	54	18
Тюменская 27	33,2	17,3	35,8	82	788	53	15
Тюменская 29	35,7	15,7	31,7	75	791	54	19
Тюменская 31	35,1	16,0	33,0	76	774	49	15
Тюменская 32	34,0	17,9	36,0	71	780	55	17
НСР ₀₅	2,5	0,9	3,4	9	13	6	4

Примечание: ИДК – индекс деформации клейковины; St – сорт-стандарт
Note: GDI – gluten deformation index; St – standard reference cultivar

ческие условия Северного Зауралья характеризовались обильным количеством осадков и жарких дней. Данные условия способствовали формированию зерна, очень близкого по показателям качества зерну, полученному в условиях Северного Казахстана. При этом средняя урожайность четырех сортов в условиях Северного Зауралья составила 48 ц/га, тогда как в казахстанских условиях эти же сорта в среднем имели урожайность только 20 ц/га.

Для более полного понимания потенциала качества российских сортов, сравнили полученные результаты с опубликованными ранее (Serdyukova, Moiseeva, 2014; Letyago, 2014; Letyago, Belkina, 2017; Belkina et al., 2019; Kazak, Loginov, 2019; Polyakov et al., 2020). Оказалось, что

содержание белка у сортов ‘Тюменская 27’, ‘Тюменская 30’, ‘Авиада’, ‘Икар’, ‘Рикс’, ‘СКЭНТ-3’, ‘Тюменская 25’, ‘Тюменская 29’, ‘Тюменская 31’, ‘Тюменская 32’, ‘Тюменская 33’ и ‘Аделина’ в период с 2010 по 2013 г. варьировало в пределах от 12,4 до 16,0% (при среднем 14,8%). Содержание и качество клейковины также соответствовало II классу (GOST 9353-2016..., 2019). Следует отметить, что в указанные годы метеорологические условия характеризовались невысокими температурами (Letyago, Belkina, 2017). В то же время в засушливых условиях Северного Казахстана эти же сорта, при обилии жарких дней, сформировали зерно с более высоким содержанием белка, в среднем до 16,5%, и качественной клейковиной (см. табл. 1).

Показатели, характеризующие физические свойства теста, и общая хлебопекарная оценка представлены на рисунке 2. По результатам альвеографического и фаринографического анализов установлены значения таких показателей, как энергия деформации теста, отношение упругости к растяжимости, водопоглощительная способность и валориметрическая оценка.

знак варьировал от 67 ед. вал. ('Тюмонец 2') до 87 ед. вал. ('Тюменская 32'), при среднем 74 ед. вал. Это позволило классифицировать данные сорта как «сильные» пшеницы и «улучшители» (см. рис. 2) (Methodology of state..., 1988).

Физические свойства теста у сортов пшеницы 'Тюменская 25', 'Тюменская 29', 'Икар' и 'Авиада', выращен-

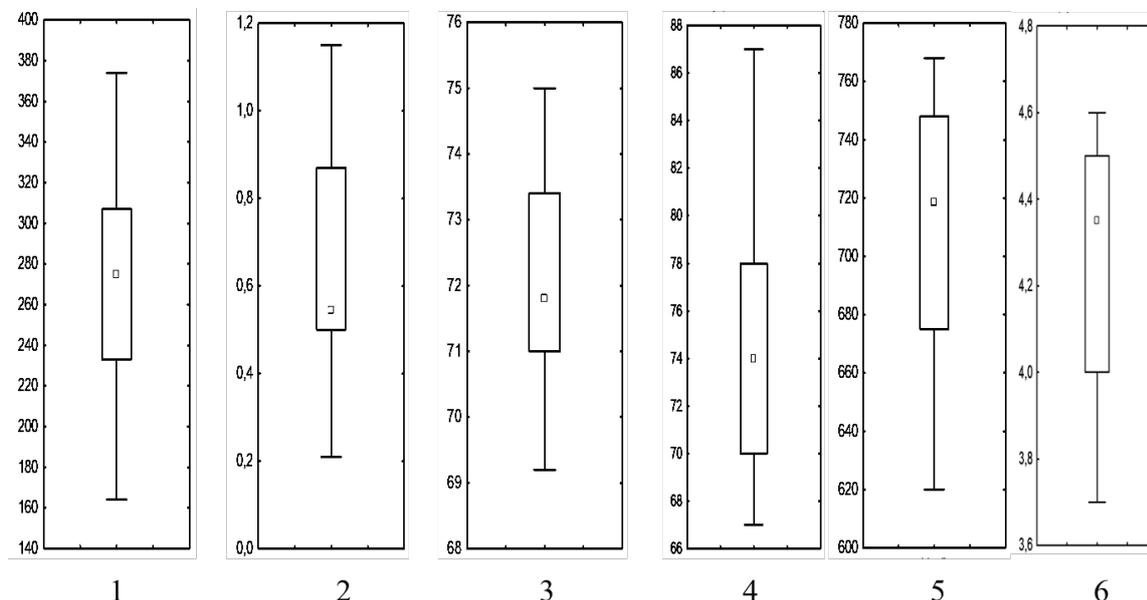


Рис. 2. Физические свойства теста, полученного из муки сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья, выращенных в условиях Северного Казахстана (урожай 2019 и 2020 гг.):

1 – энергия деформации теста (е.а.); 2 – отношение упругости к растяжимости P/L (ед.); 3 – водопоглощительная способность (%); 4 – валориметрическая оценка (ед. вал.); 5 – объем хлеба (мл); 6 – общая хлебопекарная оценка (балл)

Fig. 2 Physical properties of dough obtained from the flour of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, grown (harvested in 2019–2020) in Northern Kazakhstan: 1 – dough deformation energy (alveograph units, a.u.); 2 – dough tenacity/extensibility ratio P/L; 3 – water

absorption capacity (%); 4 – valorimetric index (val. units); 5 – loaf volume (ml); 6 – bread-making quality scores (points)

Энергия деформации теста, или «сила» муки (W), – критерий, показывающий, сколько энергии необходимо затратить на деформацию теста при раздувании его в пузырь. По действующей классификации, у качественной и «сильной» пшеницы показатель W должен быть не менее 260 единиц альвеографа (е.а.) (Methodology of state ..., 1988). На основании этих требований к «сильной» пшенице отнесены 'Икар' (322 е.а.), 'Тюменская 33' (290 е.а.), 'Аделина' (301 е.а.), 'Серебряна' (296 е.а.), 'СКЭНТ-3' (307 е.а.) и 'Лютесценс 585' (374 е.а.). Слабые показатели W имели 'Рикс' (164 е.а.), 'Тюмонец 2' (165 е.а.) и 'Тюменская 31' (175 е.а.). Сбалансированными по соотношению P/L оказались 'Тюменская 30' (0,87 ед.), 'Тюменская 33' (1,15 ед.), 'СКЭНТ-3' (0,89 ед.) и 'Лютесценс 585' (1,1 ед.).

Водопоглощительная способность (ВПС) муки находилась в пределах 69–75%, при среднем 72%. Такие сорта, как 'Тюменская 25', 'Рикс' и 'Аделина', показали значения, близкие к 70%, тогда как в условиях Северного Зауралья эти же сорта в 2010–2012 гг. имели значения ВПС 58%, 57% и 58% соответственно (Letyago, Velkina, 2017). Определяемый на фаринографе Бранднера показатель «валориметрическая оценка» характеризует «силу» пшеницы. Чем выше данный признак, тем «сильнее» пшеница. По требованиям к «сильной» и ценной пшенице, валориметрическая оценка должна быть не менее 55 единиц валориметра (ед. вал.). В изученной выборке данный при-

ных в условиях Северного Зауралья, не показали значительных отличий от данных, полученных в условиях Северного Казахстана. Исключение составил только 'Икар', сила муки которого оказалась на уровне 204 е.а. в условиях Северного Зауралья и 322 е.а. в условиях Северного Казахстана.

Хлебопекарная оценка является практическим итоговым критерием оценки качества пшеничной муки и теста (рис. 3).

Объем хлеба у изучаемых сортов яровой пшеницы находился в пределах от 620 мл ('Тюменская 27') до 768 мл ('Тюменская 29'), при среднем значении 707 мл (см. рис. 2). Достоверное превышение над стандартом наблюдали у 'Серебряна' (739 мл), 'СКЭНТ-3' (760 мл), 'Тюмонец 2' (756 мл) и 'Тюменская 29' (768 мл). Однако по общей хлебопекарной оценке изучаемые сорта не превышали сорта-стандарты.

Для сравнительного анализа зерна российской пшеницы, полученного в условиях Северного Зауралья и Северного Казахстана, провели выпечку хлеба и оценили его хлебопекарные качества у четырех сортов (табл. 2).

Результаты показали, что условия Северного Казахстана более благоприятны для получения хлеба повышенного объема (рис. 4). Так, разница в объеме составила от 32 мл ('Икар') до 110 мл ('Авиада').

Следует отметить, что рецепт лабораторной выпечки хлеба из муки мягкой пшеницы содержит такие

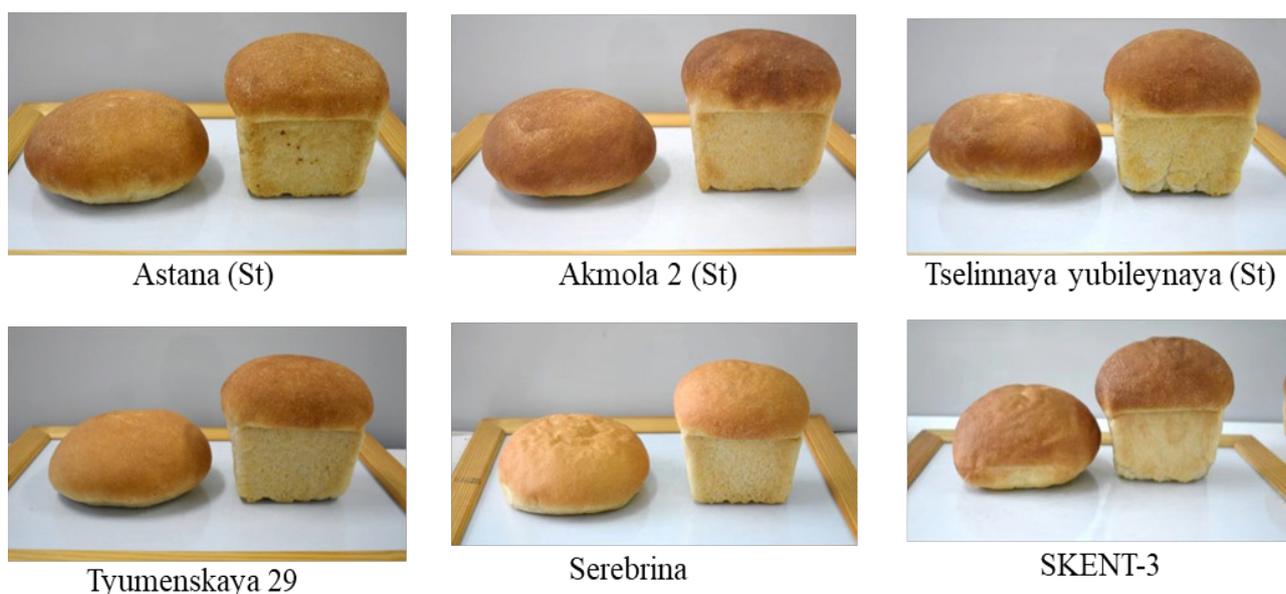


Рис. 3. Лабораторная выпечка хлеба из муки яровой мягкой пшеницы сортов НИИСХ Северного Зауралья, выращенных в условиях Северного Казахстана

Fig. 3 Laboratory baking of bread from the flour of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, grown in Northern Kazakhstan

Таблица 2. Хлебопекарное качество зерна у сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Зауралья и Северного Казахстана (среднее за 2019 и 2020 г.)

Table 2. Bread-making quality of spring bread wheat cultivars under the conditions of the Northern Trans-Urals and Northern Kazakhstan (mean for 2019 and 2020)

Сорт / Cultivar	Регион / Region	Объем хлеба, мл / Loaf volume, ml	Общая хлебопекарная оценка, балл / Bread-making quality scores (pts)
Тюменская 25	Северное Зауралье	643	4,0
	Северный Казахстан	712	4,5
Тюменская 29	Северное Зауралье	675	4,1
	Северный Казахстан	768	4,4
Икар	Северное Зауралье	690	4,3
	Северный Казахстан	722	4,5
Авиада	Северное Зауралье	605	3,7
	Северный Казахстан	715	3,9
Среднее	Северное Зауралье	653	4,0
	Северный Казахстан	729	4,3

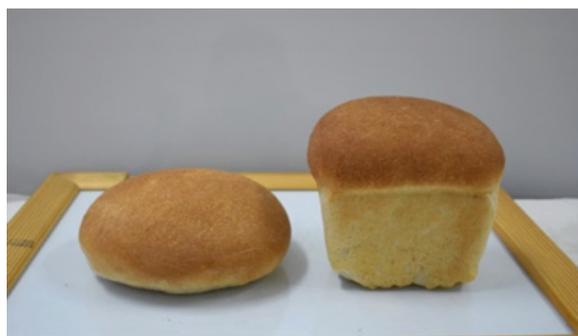


Икар



Авиада

А



Икар



Авиада

В

Рис. 4. Лабораторная выпечка хлеба из муки сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья: А – сорта выращены в условиях Северного Зауралья; В – в условиях Северного Казахстана

Fig. 4. Laboratory baking of bread from the flour of spring bread wheat cultivars developed at the Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region: А – grown in the Northern Trans-Urals;

В – grown in Northern Kazakhstan

добавки, как бромат калия и аскорбиновая кислота, которые искусственно увеличивают объем хлеба практически в два раза (Methodology of state..., 1988). В рецептуре пробной лабораторной выпечки хлеба НПЦ ЗХ им. А.И. Бараева отсутствуют химические реагенты, а анализ проводится только на основе муки, дрожжей, сахара, соли и воды в заданных пропорциях. Объем хлеба при таком методе меньше в два раза, но при этом виден хлебопекарный потенциал муки мягкой пшеницы (Bayakhmetova et al., 2014). Например, если пшеница является хорошим улучшителем, то объем хлеба, с учетом добавок бромата калия и аскорбиновой кислоты, должен быть не менее 1300 мл (Methodology of state..., 1988), в то время как без добавок этот показатель соответствует уровню 655–695 мл (Bayakhmetova et al., 2014).

Таким образом, объем хлеба у изученных сортов соответствует «сильной» пшенице категории «отличный улучшитель». При этом даже минимальный зафиксированный объем в 620 мл у «Тюменская 27» позволяет отнести ее к «сильной» пшенице. Достоверное превышение объема хлеба, при сравнении со стандартом «Целинная юбилейная», отмечено у «Тюменская 29» (768 мл), «Тюмеец 2» (756 мл) и «Серебряна» (739 мл).

Анализ литературных данных показал, что в условиях Северного Зауралья объем хлеба у сортов в период с 2010 по 2012 г. составлял: 988 мл («Тюменская 25»), 1063 мл («Рикс»), 826 мл («Аделина») (Letyago, Belkina, 2017); в 2014 г. объем в 1100 мл имели «Тюменская 32» и «Тюменская 33», и в 2017 г. сорт «Тюменская 29» показал объем хлеба в 1010 мл (Belkina et al., 2019). Однако эти результаты получены на основе рецептуры Госкомиссии по сортоиспытанию (Methodology of state..., 1988), и пред-

ставленные данные необходимо уменьшить вдвое, чтобы получить объем хлеба без использования улучшителей. В этом случае, при классификации сортов пшеницы по объему хлеба без учета добавок, сорта «Рикс» (Letyago, 2014), «Тюменская 29», «Тюменская 32» и «Тюменская 33» (Belkina et al., 2019) относятся к ценным по качеству, а «Аделина» и «Тюменская 25» – к филлерам (Letyago, 2014). Тогда как в условиях Северного Казахстана эти же сорта получили оценки как отличные и хорошие улучшители. Общая хлебопекарная оценка изучаемых сортов варьировала от 3,7 до 4,5 баллов, при среднем 4,2 балла, что соответствует ценной по качеству пшенице.

Для выявления сортов с комплексом повышенных качественных характеристик зерна, готовой продукции и урожайности проведен кластерный анализ выборки изученных сортов по методу Уорда без учета влияния показателей сортов-стандартов. В результате анализа изученные сорта четко объединились в два кластера: А (9 сортов) и В (6 сортов) (рис. 5).

При расчете средних значений показателей биохимической, технологической, хлебопекарной оценки и урожайности сортов, включенных в каждый из кластеров, оказалось, что сорта кластера В предпочтительнее чем сорта кластера А по энергии деформации теста, отношению P/L и объему хлеба (табл. 3).

Стоит отметить, что все сорта кластера В содержат аллель *Glu-D1d*, контролирующей синтез пары высокомолекулярных субъединиц глютеина *1D5x+1D10y* (Utebayev et al., 2021), который связан с повышенными хлебопекарными признаками (Wang et al., 2018; Gao et al., 2020).

Интересно, что у сортов «Аделина», «СКЭНТ-3» и «Икар», сформировавших качественное зерно, идентифицирован

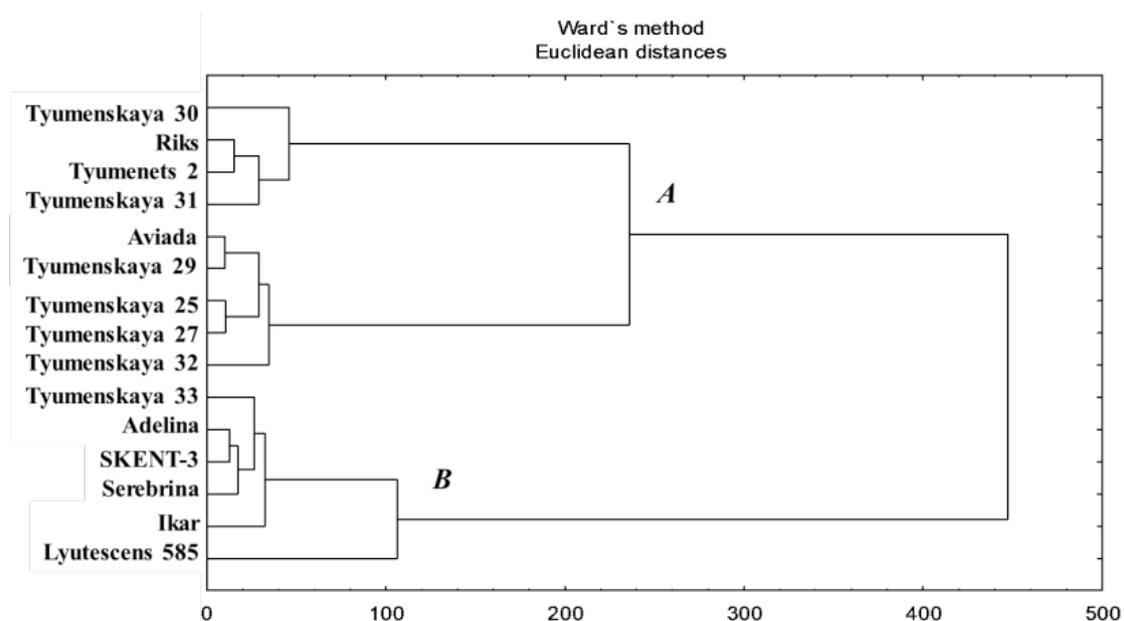


Рис. 5. Кластеризация сортов яровой мягкой пшеницы по комплексу биохимических и технологических показателей и урожайности. Сорта выращивали в условиях Северного Казахстана (урожай 2019–2020 гг.)

Fig. 5 Clustering of spring bread wheat cultivars according to a set of biochemical and technological indicators and yield under the conditions of Northern Kazakhstan (harvested in 2019–2020)

Таблица 3. Показатели биохимической и технологической оценки зерна и урожайности сортов яровой мягкой пшеницы кластеров А и В

Table 3. Indicators of biochemical and technological assessment of grain quality and yield of spring bread wheat cultivars from clusters A and B

Показатели качества / Quality indicators	Кластер А / Cluster A	Кластер В / Cluster B
Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g	35,6	35,7
Содержание белка, % / Protein content, %	16,5	16,7
Содержание клейковины, г / Gluten content, %	33,5	34,2
ИДК, ед. / Gluten quality, GDI units	77	78
Натура зерна, г/л / Grain test weight, g/l	790	791
Стекловидность, % / Vitreousness, %	54	54
Энергия деформации теста, е.а. / Dough deformation energy, alveograph units (a.u.)	215	315
Отношение упругость/растяжимость, P/L / Dough tenacity/extensibility ratio (P/L), units	0,54	0,80
ВПС, % / Water absorption capacity, %	72	72
Валориметрический индекс, ед. вал. / Valorimetric index, val. units	72	77
Объем хлеба, мл / Loaf volume, ml	697	722
Общая хлебопекарная оценка, балл / Bread-making quality scores, pts	4,2	4,2
Урожайность, ц/га / Yield, 100 kg/ha	18	19

аллель *Glu-B1a*, контролирующей синтез субъединицы глютеина 1Вх7, связанной с низким качеством, которое оценивается в 1 балл по шкале влияния субъединиц глютеина на хлебопекарное качество (Lukow et al., 1989). С другой стороны, отсутствие данной субъединицы может отрицательно сказаться на качестве теста (Chen et al., 2019). Поэтому можно предположить, что прогнозируемое хлебопекарное качество на основе наличия тех или иных высокомолекулярных субъединиц глютеина не всегда соответствует действительному качеству. К тому же следует учесть, что качество зерна на 53% зависит от погодных условий (Petrenko et al., 2017), и, возможно, негативное влияние «плохих» аллелей глютеина может компенсироваться благоприятными почвенно-климатическими условиями.

Заключение

На основе хлебопекарной оценки значительное превышение объема хлеба по сравнению с сортом-стандартом 'Целинная юбилейная' отмечено у сортов 'Тюменская 29' (768 мл), 'Тюмонец 2' (756 мл), 'Серебрянка' (739 мл).

Полученные результаты технологической, хлебопекарной оценки зерна и урожайности сортов яровой мягкой пшеницы, созданных в НИИСХ Северного Зауралья, свидетельствуют о том, что эти сорта в засушливых условиях, при малом количестве осадков, способны сформировать высококачественное зерно, но имеют невысокую урожайность. С другой стороны, урожайность североказахстанской пшеницы в среднем составляет примерно 20 ц/га, поэтому полученная урожайность российской пшеницы вполне допустима в условиях Северного Казахстана. Таким образом, представляется целесообразным и оправданным дальнейшее изучение сортов мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья, которые можно использовать в качестве источников и доноров высокого качества зерна при создании новых сортов пшеницы в условиях засушливой степи Северного Казахстана.

References / Литература

Bayakhmetova S.E., Yakunina N.A., Popolzhukhina N.A., Babkenov A.T., Dashkevich S.M. Evaluation of milling and baking qualities of grain varieties and lines of spring wheat in arid steppes of Kazakhstan. *Omsk Scientific Bulletin*. 2014;2(134):240-242. [in Russian] [Баяхметова С.Е., Якунина Н.А., Поползухина Н.А., Бабкенов А.Т., Дашкевич С.М. Оценка мукомольных и хлебопекарных качеств зерна сортов и линий яровой мягкой пшеницы в условиях засушливой степи Казахстана. *Омский научный вестник*. 2014;2(134):240-242].

Belkina R.I., Vydrin V.V., Fedoruk T.K. Grain quality of wheat of state testing variety cultivated in Tyumen Region. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;4(78):47-50. [in Russian] (Белкина Р.И., Выдрин В.В., Федорук Т.К. Качество зерна пшеницы сортов государственного испытания Тюменской области. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019;4(78):47-50).

Chen Q., Zhang W., Gao Y., Yang C., Gao X., Peng H. et al. High molecular weight glutenin subunits 1Вх7 and 1Ву9 encoded by *Glu-B1* locus affect wheat dough properties and sponge cake quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2019;67(42):11796-11804. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b05030

Das M.K., Griffey C.A., Baldwin R.E., Waldenmaier C.M., Vaughn M.E., Price A.M. et al. Host resistance and fungicide control of leaf rust (*Puccinia hordei*) in barley (*Hordeum vulgare*) and effects on grain yield and yield components. *Crop Protection*. 2007;26(9):1422-1430. DOI: 10.1016/j.cropro.2006.12.003

Dhakal S., Liu X., Girard A., Chu C., Yang Y., Wang S. et al. Genetic dissection of end-use quality traits in two widely adapted wheat cultivars 'TAM 111' and 'TAM 112'. *Crop Science*. 2021;61(3):1944-1959. DOI: 10.1002/csc2.20415

Dospikhov B.A. Methodology of field trial (Metodika polevogo opyta). Moscow: Agropromizdat; 1985. [in Russian] (Доспихов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат; 1985).

Ernst O.R., Dogliotti S., Cadenazzi M., Kemanian A.R. Shifting crop-pasture rotations to no-till annual cropping reduces soil quality and wheat yield. *Field Crops Research*. 2018;217:180-187. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.11.014

Farrer D., Weisz R., Heiniger R., Murphy J.P., Pate M.H. Delayed harvest effect on soft red winter wheat in the southeastern USA. *Agronomy Journal*. 2006;98(3):588-595. DOI: 10.2134/agronj2005.0211

Fomina O., Levin A., Narseev A. Grain. Quality and safety inspection according to international standards (Zerno. Kontrol kachestva i bezopasnosti po mezhdunarodnyy standartam). Moscow: Protektor; 2001. [in Russian] (Фомина О.Н., Левина А.М., Нарсеев А.В. Зерно. Контроль качества и безопасности по международным стандартам. Москва: Протектор; 2001).

Gao S., Sun G., Liu W., Sun D., Peng Y., Ren X. High-molecular-weight glutenin subunit compositions in current Chinese commercial wheat cultivars and the implication on Chinese wheat breeding for quality. *Cereal Chemistry*. 2020;97(4):762-771. DOI: 10.1002/cche.10290

Goel S., Singh K., Singh B., Grewal S., Dwivedi N., Alqarawi A.A. et al. Analysis of genetic control and QTL mapping of essential wheat grain quality traits in a recombinant inbred population. *PLoS One*. 2019;14(3):e0200669. DOI: 10.1371/journal.pone.0200669

GOST 9353-2016. Interstate standard. Wheat. Specifications. Official edition. (Mezhhgosudarstvennyy standart. Pshenitsa. Tekhnicheskiye usloviya. Izdaniye ofitsialnoye). Moscow: Standartinform; 2019. [in Russian] (ГОСТ 9353-2016. Межгосударственный стандарт. Пшеница. Технические условия. Издание официальное). Москва: Стандартинформ; 2019). URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/62924> [дата обращения: 02.03.2022].

Holland J.B., Munkvold G.P. Genetic relationships of crown rust resistance, grain yield, test weight, and seed weight in oat. *Crop Science*. 2001;41(4):1041-1050. DOI: 10.2135/cropsci2001.4141041x

Iqbal M., Navabi A., Yang R.C., Salmon D.F., Spaner D. The effect of vernalization genes on earliness and related agronomic traits of spring wheat in northern growing regions. *Crop science*. 2007;47(3):1031-1039. DOI: 10.2135/cropsci2006.09.0618

Kaplin V.G., Sharapova Yu.A. Influence of the Russian wheat aphid *Diuraphis noxia* (Kurdjumov) (Homoptera, Aphididae) on productive qualities of spring bread wheat and barley grown from the seeds from aphid-infested spikes. *Entomological Review*. 2017;97(4):415-424. DOI: 10.1134/S0013873817040030

Kazak A.A., Loginov Yu.P. Yield and grain quality of mid-season and mid-late valuable spring bread wheat cultivars of Siberian breeding in the northern forest-steppe of Tyumen Province (Urozhaynost i kachestvo zerna sred-

- nespelykh i srednepozdnykh tsennykh sortov yarovoy myagkoy pshenitsy sibirskoy seleksii v severnoy lestepi Tyumenskoj oblasti). *AgroEcoInfo*. 2019;1(35):15. [in Russian] (Казак А.А., Логинов Ю.П. Урожайность и качество зерна среднеспелых и среднепоздних ценных сортов яровой мягкой пшеницы сибирской селекции в северной лесостепи Тюменской области. *АгроЭкоИнфо*. 2019;1(35):15).
- Letyago Yu.A. Variation of technological properties of wheat in the conditions of Northern Zauralye. *Khleboпродукты = Bread Products*. 2014;(9):58-60. [in Russian] (Летяго Ю.А. Варьирование технологических свойств зерна пшеницы в условиях Северного Зауралья. *Хлебопродукты*. 2014;(9):58-60).
- Letyago Yu.A., Belkina R.I. Wheat from Tyumen Province: quality of grain, flour, and bread (Pshenitsa Tyumenskoj oblasti: kachestvo zerna, muki i khleba). Tyumen; 2017. [in Russian] (Летяго Ю.А., Белкина Р.И. Пшеница Тюменской области: качество зерна, муки и хлеба. Тюмень; 2017).
- Liu J., Zhang J., Zhu G., Zhu D., Yan Y. Effects of water deficit and high N fertilization on wheat storage protein synthesis, gluten secondary structure, and breadmaking quality. *The Crop Journal*. 2022;10(1):216-223. DOI: 10.1016/j.cj.2021.04.006
- Lukow O.M., Payne P.I., Tkachuk R. The HMW glutenin subunit composition of Canadian wheat cultivars and their association with bread-making quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1989;46(4):451-460. DOI: 10.1002/jsfa.2740460407
- Methodology of state variety trials for agricultural crops. Technological assessment of cereal, groat and grain legume crops (Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya selskokhozyaystvennykh kultur. Tekhnologicheskaya otsenka zernovykh, krupyanykh i zernobobovykh kultur). Moscow; 1988. [in Russian] (Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. Москва; 1988).
- Miao Y., Mulla D.J., Hernandez J.A., Wiebers M., Robert P.C. Potential impact of precision nitrogen management on corn yield, protein content, and test weight. *Soil Science Society of America Journal*. 2007;71(5):1490-1499. DOI: 10.2136/sssaj2005.0396
- Özturk A., Aydin F. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2004;190(2):93-99. DOI: 10.1046/j.1439-037X.2003.00080.x
- Petrenko V., Liubich V., Bondar V. Baking quality of wheat grain as influenced by agriculture systems, weather and storing conditions. *Romanian Agricultural Research*. 2017;34:69-76.
- Polyakov M.V., Belkina R.I., Letyago Yu.A. Variation of grain quality characteristics in spring soft wheat varieties in the Northern Trans-Urals. *Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov*. 2020;4(61):20-26. [in Russian] (Поляков М.В., Белкина Р.И., Летяго Ю.А. Варьирование признаков качества зерна у сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Зауралья. *Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.П. Филиппова*. 2020;4(61):20-26). DOI: 10.34655/bgsha.2020.61.4.003
- Randall P.J., Moss H.J. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research*. 1990;41(4):603-617. DOI: 10.1071/AR9900603
- Serdyukova L.A., Moiseeva K.V. Grain quality of spring bread wheat cultivars under the conditions of the northern forest-steppe in Tyumen Province (Kachestvo zerna sortov yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh severnoy lestepi Tyumenskoj oblasti). In: *Prospects for the development of the agro-industrial complex in the works of young scientists. Proceedings of the Regional Scientific and Practical Conference of Young Scientists (Perspektivy razvitiya APK v rabotakh molodykh uchenykh. Sbornik materialov regionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh)*. Tyumen; 2014. p.141-144. [in Russian] (Сердюкова Л.А., Моисеева К.В. Качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях северной лесостепи Тюменской области. В кн.: *Перспективы развития АПК в работах молодых учёных. Сборник материалов региональной научно-практической конференции молодых ученых*. Тюмень; 2014. С.141-144). Available from: http://www.tsaa.ru/content/files/upload/368/2014g_perspektivyi_razvitiya_apk_v_rabotax_molodyix_uchyonyix_-_sbornik_materialov_konferentsii_5_fevralya_-_chast_1.pdf#page=141 [дата обращения: 04.03.2022].
- ST RK 1046-2008. Wheat. Specifications (ST RK 1946-2008. Pshenitsa. Tekhnicheskiye usloviya). Almaty; 2008. [in Russian] (СТ РК 1046-2008. Пшеница. Технические условия. Алма-Ата; 2008).
- Utebayev M.U., Bome N.A., Zemtsova E.C., Kradetskaya O.O., Chilimova I.V. Diversity high-molecular-weight glutenin subunits and evaluation of genetic similarities in spring bread wheats from different breeding centers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(1):99-109. [in Russian] (Утебаев М.У., Боме Н.А., Земцова Е.С., Крадецкая О.О., Чилимова И.В. Разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютеина и оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(1):99-109). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-99-109
- Varshney R.K., Sinha P., Singh V.K., Kumar A., Zhang Q., Bennetzen J.L. 5Gs for crop genetic improvement. *Current Opinion in Plant Biology*. 2020;56:190-196. DOI: 10.1016/j.pbi.2019.12.004
- Walsh O.S., Walsh W.L. Seeding rate and nitrogen fertilizer rate effect on dryland no-till hard red spring wheat yield and quality. *Agrosystems, Geosciences and Environment*. 2020;3(1):e20001. DOI: 10.1002/agg2.20001
- Wang X., Zhang Y., Zhang B., Florides C.G., Gao Z., Wang Z. et al. Comparison of quality properties between high-molecular-weight glutenin subunits 5 + 10 and 2 + 12 near-isogenic lines under three common wheat genetic backgrounds. *Cereal Chemistry*. 2018;95(4):575-583. DOI: 10.1002/cche.10061

Информация об авторах

Марал Уралович Утебаев, заведующий лабораторией, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15, phytochem@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0729-0592>

Татьяна Васильевна Шелаева, старший научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева 15, tatyana.shelaewa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5987-531X>

Нина Анатольевна Боме, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой, Институт биологии, Тюменский государственный университет, 625043 Россия, Тюмень, ул. Пирогова, 3, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Ирина Владимировна Чилимова, научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15, coronela@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8016-646X>

Оксана Олеговна Крадецкая, научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15, oksana_cwr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4904-2837>

Светлана Михайловна Дашкевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева, 021601 Казахстан, п. Шортанды-1, ул. Бараева, 15), vetka-da@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5272-9042>

Владимир Васильевич Новохатин, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ТНЦ СО РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, gnu_niicx@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

Лариса Ильинична Вайсфельд, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук, 119334 Россия, Москва, ул. Косыгина, 4, liv11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8449-3679>

Information about the authors

Maral U. Utebayev, Head of a Laboratory, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, phytochem@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0729-0592>

Tatyana V. Shelaeva, Senior Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, tatyana.shelaewa@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5987-531X>

Nina A. Bome, Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of a Department, University of Tyumen, 3 Pirogova St., Tyumen 625043, Russia, bomena@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5467-6538>

Irina V. Chilimova, Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, coronela@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8016-646X>

Oksana O. Kradetskaya, Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, oksana_cwr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4904-2837>

Svetlana M. Dashkevich, Cand. Sci. (Agriculture), Senior Researcher, A.I. Barayev Research and Production Center of Grain Farming, 15 Barayev St., Shortandy-1 021601, Kazakhstan, vetka-da@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5272-9042>

Vladimir V. Novokhatin, Cand. Sci. (Agriculture), Head of a Laboratory, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research Institute of Agriculture for the Northern Trans-Ural Region, branch of the TSC SB RAS, 2 Burlaki St., Moskovsky Settlement, Tyumensky District, Tyumen Province 625501, Russia, gnu_niicx@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2191-0420>

Larisa I. Weisfeld, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, 4 Kosygina St., Moscow 119334, Russia, liv11@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8449-3679>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.02.2022; одобрена после рецензирования 21.04.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 02.02.2022; approved after reviewing on 21.04.2022; accepted for publication on 06.09.2022.