

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕНОВ КАЧЕСТВА ЗЕРНА СРЕДИ СОРТОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

И. В. Потоцкая, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, iv.pototskaya@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-3574-2875;

С. С. Шепелев, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией генетики зерновых культур, ss.shepelev@omgau.org, ORCID ID: 0000-0002-4282-8725;

А. С. Чурсин, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и семеноводства полевых культур, as.chursin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0001-6797-6145;

А. М. Ковальчук, аспирант кафедры агрономии, селекции и семеноводства am.kovalchuk2032@omgau.org, ORCID ID: 0009-0006-8371-7243;

В. П. Шаманин, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, vp.shamanin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-4767-9957

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Омский ГАУ),

644008, Омская обл., г. Омск, Институтская пл., д. 1

В настоящее время на рынке агропродукции представлен широкий ассортимент сортов озимой пшеницы отечественной селекции. Однако в связи с потеплением климата и усилением частоты засушливых лет актуальным является создание сортов с широкой адаптивностью, высоким потенциалом урожайности и качества зерна. Цель исследований – выявление новых генетических источников озимой мягкой пшеницы с комплексом благоприятных аллелей генов, контролирующих признаки качества зерна. В 2022–2023 гг. изучена коллекция из 26 сортов озимой мягкой пшеницы из селекционных учреждений Ростовской области и Краснодарского края с применением общепринятых селекционных методик. Проведен анализ технологических признаков качества и идентификация локусов, ассоциированных с данными признаками, с использованием KASP-маркеров, разработанных в Институте биологии и биотехнологии растений (Казахстан). Сорта селекции Федерального Ростовского АНЦ сформировали наибольшую урожайность (341 г/м²) при меньшем накоплении белка и клейковины (14,2 и 29,5 %), и напротив, сорта АНЦ «Донской» и Национального центра зерна имени П. П. Лукьяненко характеризовались более высокими показателями белка и клейковины (15,5–15,7 и 33,2–34,4 %), но меньшей урожайностью (244–276 г/м²). Сорта Донской Маяк, Конкурент, Находка, Ростовчанка 7, Дуплет и линия К 18918 отличались лучшими технологическими признаками зерна (белок >15 %, клейковина >30 %, индекс глютена >85 % и седиментация ≥53 %) и большим количеством благоприятных аллелей SNP локусов, сопряженных с этими признаками. Сорта Донна, Золушка, Донская Лира превзошли по урожайности стандарт Омская 4 (368–378 г/м²), но аллельные варианты выявленных маркеров у них ниже. Выделены сорта с максимальным числом благоприятных аллелей (10–11), сопряженных с технологическими признаками качества, рекомендуемые для улучшения сортов озимой пшеницы по качеству зерна: Донна, Золушка, Донская Лира (Федеральный Ростовский АНЦ), Донской Маяк, Конкурент, Находка, Ростовчанка 7 (АНЦ «Донской»), Дуплет, линия К 18918 (Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко).

Ключевые слова: озимая пшеница, сорт, качество зерна, KASP-маркеры.

Для цитирования: Потоцкая И. В., Шепелев С. С., Чурсин А. С., Ковальчук А. М., Шаманин В. П. Идентификация генов качества зерна среди сортов озимой мягкой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 2. С. 43–48. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-91-2-43-48.



IDENTIFICATION OF GRAIN QUALITY GENES AMONG WINTER COMMON WHEAT VARIETIES

I. V. Pototskaya, Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of agronomy, breeding and seed production, iv.pototskaya@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-3574-2875;

S. S. Shepelev, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for grain crop genetics, ss.shepelev@omgau.org, ORCID ID: 0000-0002-4282-8725;

A. S. Chursin, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for field crops' breeding and seed production, as.chursin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0001-6797-6145;

A. M. Kovalchuk, post-graduate of the department of agronomy, breeding and seed production am.kovalchuk2032@omgau.org, ORCID ID: 0009-0006-8371-7243;

V. P. Shamanin, Doctor of Agricultural Sciences, professor of the department of agronomy, breeding and seed production, vp.shamanin@omgau.org, ORCID ID: 0000-0003-4767-9957

FSBEI HE "Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin" (FSBEI HE Omsk SAU), 644008, Omsk region, Omsk, Institutskaia Sq. 1

Currently, the agricultural market offers a wide range of winter wheat varieties of domestic breeding. However, due to climate warming and the increasing frequency of arid years, it is urgent to develop varieties with wide adaptability, large productivity potential and grain quality. The purpose of the current study was to identify new genetic sources of winter common wheat with a complex of favorable gene alleles that control grain quality traits. In 2022–2023 there was studied the collection of 26 winter common wheat varieties from breeding institutions of the Rostov region and Krasnodar region using generally accepted breeding techniques. There was carried out an analysis of technological

quality traits and identification of loci associated with these traits using KASP-markers developed at the Institute of Plant Biology and Biotechnology (Kazakhstan). The varieties developed by the Federal Rostov ARC generated the largest productivity (341 g/m²) with less accumulation of protein and gluten (14.2 and 29.5 %), and, on the contrary, the varieties of the ARC "Donskoy" and the National Grain Center named after P. P. Lukyanenko were characterized by higher percentage of protein and gluten (15.5–15.7 and 33.2–34.4 %), but lower productivity (244–276 g/m²). The varieties 'Donskoy Mayak', 'Konkurent', 'Nakhodka', 'Rostovchanka 7', 'Duplet' and the line 'K 18918' were distinguished by the best technological traits of grain (protein >15 %, gluten >30 %, gluten index >85 % and sedimentation ≥53 %) and many favorable alleles of SNP loci associated with these features. The varieties 'Donna', 'Zolushka', 'Donskaya Lira' exceeded the standard 'Omskaya 4' (368–378 g/m²) in productivity, but their allelic variants of the identified markers were lower. There have been identified the varieties 'Donna', 'Zolushka', 'Donskaya Lira' (Federal Rostov ARC), 'Donskoy Mayak', 'Konkurent', 'Nakhodka', 'Rostovchanka 7' (ARC "Donskoy"), 'Duplet', 'line K 18918' ("National Grain Center named after P. P. Lukyanenko") with the maximum number of favorable alleles (10–11), associated with technological quality traits, recommended for improving winter wheat varieties in terms of grain quality.

Keywords: winter wheat, variety, grain quality, KASP markers.

Введение. В настоящее время на рынке агропродукции представлен широкий ассортимент сортов озимой пшеницы отечественной селекции. Однако в связи с потеплением климата и усилением частоты засушливых лет актуальным является создание сортов с широкой адаптивностью и отзывчивостью на интенсификацию агротехнологий, а также с высоким потенциалом урожайности и качества зерна. Признаки качества являются весьма вариабельными в зависимости от погодных условий, в этой связи вклад генотипа сорта и технологии возделывания играют важную роль в формировании высококачественного зерна пшеницы (Сандухадзе, 2010). Содержание белка и клейковины – основные показатели, определяющие качество и технологическое использование зерна пшеницы. Широкое генетическое разнообразие сортов пшеницы по данным признакам может быть использовано для получения высокоурожайных сортов с повышенной пищевой ценностью зерна (Cha et al., 2023). Среди платформ генотипирования технология KASP (Kompetitive Allele-Specific PCR) была разработана в дополнение к технологии SNP типирования с помощью чипов и обеспечивает высокую производительность и эффективность генотипирования пшеницы при относительно низких затратах (Kaur et al., 2020). Анализ полиморфизма сортов пшеницы с помощью KASP технологии позволяет выделить генотипы с комплексом благоприятных аллелей с целью их привлечения в стратегию скрещивания селекционных программ (Потоцкая и др., 2020; Лагуновская, 2023). В ряде исследований показана эффективность SNP типирования и выявления маркеров, сопряженных с признаками качества зерна, для улучшения сортов озимой пшеницы (Шаптуренко и др. 2016; Каракотов и др., 2022).

Цель исследований – выявление новых генетических источников озимой мягкой пшеницы с комплексом благоприятных аллелей генов, контролирующих признаки качества зерна.

Материалы и методы исследований. Изучена коллекция 26 сортов и линий озимой мягкой пшеницы российской селекции из учреждений Ростовской области и Краснодарского края:

Федеральный Ростовский АНЦ (Губернатор Дона, Донна, Донэра, Вестница, Донская Лира, Золушка, Донэко); АНЦ «Донской» (Ростовчанка 7, Донской Маяк, Находка, Дон 107, Донская Юбилейная, Донской Сюрприз, Konkurent, Танаис); Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко (Этнос, Анка, Алексеич, Жива, Граф, Дуплет, Маркиз, Антонина, Гурт, К 18918, Л 2293).

Коллекция сортообразцов оценивалась в 2022–2023 гг. на малом опытном поле Омского ГАУ. Посев проводили сеялкой, площадь делянок 3 м² с нормой высева 500 зерен на 1 м², повторность 2-кратная, стандарты – Омская 4 и Безостая 1. Содержание белка, клейковины и зольность зерна определяли с помощью прибора Инфралюм ФТ-10М («Люмэкс», Россия); индекс глютена – на приборе Gluten Index Device-Y08; показатель седиментации – на аппарате седиментации Sedimentation Device-15 («YUCEBAS MACHINERY», Турция) (ГОСТ ISO 21415-2-2019, ГОСТ ISO 5529-2013). Дисперсионный анализ проводили по руководству Доспехова с использованием Microsoft Excel. Молекулярно-генетический анализ образцов озимой пшеницы проведен по 55 KASP-маркерам, в том числе 13-ти, ассоциированным с признаками качества зерна (табл. 1). KASP-маркеры разработаны в лаборатории молекулярной генетики Института биологии и биотехнологии растений (Казахстан) на основе данных GWAS и поиска SNP локусов, ассоциированных с фенотипическим проявлением признака (Amalova et al., 2022). Вегетационный период 2022 г. характеризовался как засушливый (ГТК = 0,91) со средними декадными температурами, неравномерным распределением осадков – в мае сумма осадков составила 35 % от среднемноголетней (6 мм); 2023 г. характеризовался как острозасушливый (ГТК = 0,63) с большим недобором осадков в мае (12 мм) и, напротив, превышением среднегодового количества осадков в августе – начале сентября (46 мм). В зимний период в 2021–2022 гг. отмечена меньшая высота снежного покрова (20,1 см) в сравнении с 2022–2023 гг. (24,9 см), тогда как среднесуточные температуры существенно не отличались.

Таблица 1. KASP-маркеры, используемые для идентификации генов качества зерна
Table 1. KASP-markers used for identification of grain quality genes

Признак	KASP ID	Хромосома	Позиция	Аллель
Клейковина, %	<i>ipbb_ta_219</i>	1D	81,4	C / T*
Белок / Клейковина, %	<i>ipbb_ta_220</i>	6A	72	G / T
Натура, г/л	<i>ipbb_ta_247</i>	3B	70852262	G / A
Крахмал, %	<i>ipbb_ta_249</i>	4A	614111171	C / A
Натура, г/л	<i>ipbb_ta_253</i>	5A	698509784	C / T
Натура, г/л	<i>ipbb_ta_257</i>	1A	87,832	C / T
Клейковина, % / Седиментация, мл	<i>ipbb_ta_258</i>	1D	12,3904	C / T
Белок, %	<i>ipbb_ta_261</i>	4A	40,1001	A / G
Белок, %	<i>ipbb_ta_272</i>	7B	32,2946	A / C
Стекловидность, %	<i>ipbb_ta_274</i>	1B	99,1	A / G
Седиментация, мл	<i>ipbb_ta_275</i>	1B	109,2	A / G
Белок, %	<i>ipbb_ta_278</i>	2D	35,6	A / G
Седиментация, мл	<i>ipbb_ta_283</i>	6A	56,3	C / T

Примечание. * – полужирным шрифтом обозначены благоприятные аллели.

Результаты и их обсуждение. Оценка качества и урожайности зерна коллекционных образцов озимой пшеницы за два года исследований выявила, что среди изученных признаков широкий размах изменчивости отме-

чен у содержания клейковины (25,8–41,3 %) и показателя седиментации (36–67 мл), а также массы 1000 зерен (26,5–49,8 г) и урожайности (83–378 г/м²) (табл. 2).

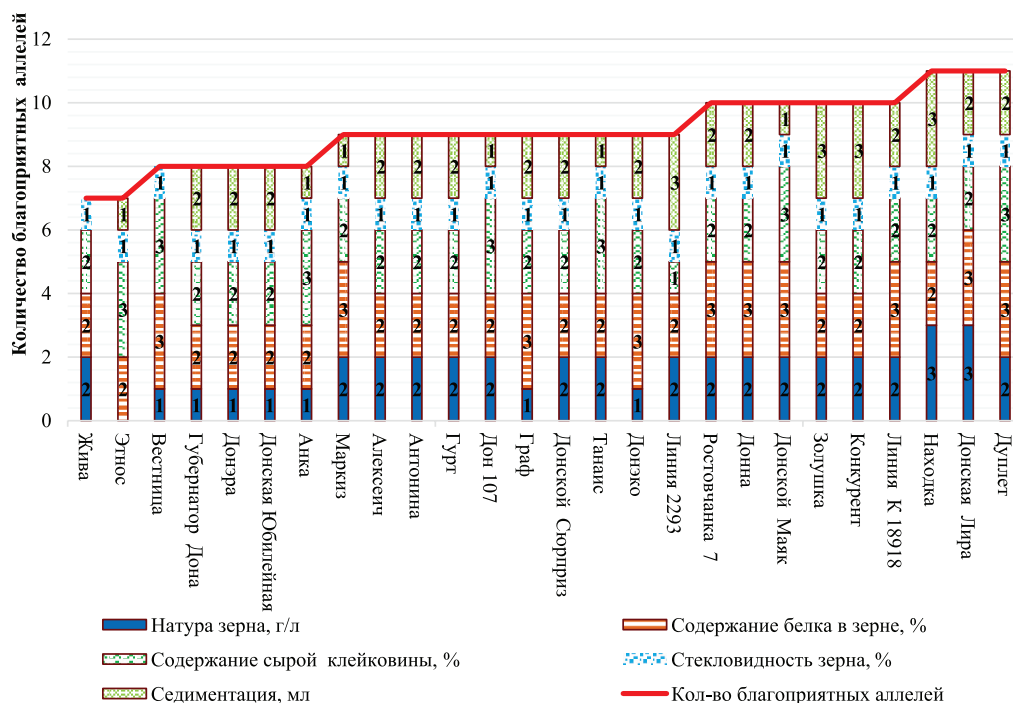
Таблица 2. Урожайность и признаки технологических свойств зерна сортообразцов озимой пшеницы (2022–2023 гг.)
Table 2. Productivity and traits of technological properties of winter wheat varieties' grain (2022–2023)

Признак		Федеральный Ростовский АНЦ	АНЦ «Донской»	НЦ зерна имени П. П. Лукьяненко
Количество образцов, шт.		7	8	11
Содержание белка, %	min–max	13,2–15,3	13,5–16,9	13,3–17,5
	среднее	14,2±5,38	15,4±5,45	15,7±4,53
Содержание клейковины, %	min–max	25,8–33,8	25,9–38,4	25,9–41,3
	среднее	29,5±11,1	33,2±11,7	34,4±9,94
Зольность зерна, %	min–max	1,69–1,78	1,50–1,93	1,60–2,11
	среднее	1,70±0,65	1,80±0,62	1,80±0,52
Индекс глютена, %	min–max	95,2–98,1	85,2–98,9	88,9–99,1
	среднее	97,0±36,7	95,9±33,9	95,2±27,5
Седиментация, мл	min–max	36,0–56,8	46,0–67,0	46,0–67,0
	среднее	46,5±17,6	57,7±20,4	55,3±15,9
Масса 1000 зерен, г	min–max	32,4–49,8	33,6–40,3	26,5–43,6
	среднее	38,3±14,5	36,5±12,9	35,4±10,2
Урожайность, г/м ²	min–max	213–378	150–352	83–375
	среднее	341±129	276±98	244±70

Отмечена отрицательная корреляция между содержанием белка и клейковины в зерне и урожайностью ($r = -0,27$ и $r = -0,30$ соответственно) в условиях Западной Сибири. Так, сорта селекции Федерального Ростовского АНЦ сформировали наибольшую урожайность (341 г/м²) при меньшем накоплении белка и клейковины (14,2 и 29,5 % соответственно), и напротив, сорта Национального центра зерна имени П. П. Лукьяненко характеризовались более высокими показателями белка и клейковины (15,7 и 34,4 %), но меньшей урожайностью (244 г/м²). Генотипы сортов озимой пшеницы из АНЦ «Донской» имели высокие значения белка (15,4 %), клейковины (33,2 %), индекса глютена (95,9 %) и седиментации (57,7 мл) при средней урожайности 276 г/м². В более засушливых условиях 2022 г. в период налива зерна показатели белка и клейковины в зер-

не коллекционных образцов были существенно выше (16,5 и 37,0 %) в сравнении с 2023 г. (13,6 и 27,2 %).

Современные методы селекции позволяют существенно сократить сроки создания сортов пшеницы, но эти методы, к сожалению, финансово емки, и у селекционных учреждений зачастую не хватает средств на их внедрение. Генотипирование сортов с использованием KASP-маркеров является относительно недорогим и эффективным методом выделения ценных генетических источников среди селекционного материала (Никитина и др., 2022; Галимова и др., 2023). Изученные сорта озимой пшеницы ранжированы по количеству благоприятных аллелей (7–11), ассоциированных с признаками качества зерна: натурой и стекло-видностью зерна, содержанием белка и клейковины, показателем седиментации (см. рис.).



Распределение образцов озимой пшеницы в соответствии с наличием благоприятных аллелей, ассоциированных с признаками качества зерна
Distribution of winter wheat samples according to the presence of favorable alleles associated with grain quality traits

Среди изученных KASP-маркеров, сопряженных с признаками качества зерна, частота встречаемости благоприятных аллелей для полиморфных локусов варьировала от 0,026 до 0,990. Наибольшая частота встречаемости выявлена для благоприятных аллелей локусов *ipbb_ta_257* (0,865), натура зерна; *ipbb_ta_220* (0,990), *ipbb_ta_261* (0,932), содержание белка; *ipbb_ta_219* (0,833), *ipbb_ta_220* (0,990), содержание клейковины; *ipbb_ta_274* (0,969), стекловидность зерна. Некоторые SNP-локусы (*ipbb_ta_220* и *ipbb_ta_258*) имеют плейотропный эффект, контролируя два признака одновременно (белок и клейковину, клейковину и показатель седиментации). Например, сорта

Маркиз, Антонина, Гурт (Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко) показали высокие значения белка, клейковины и седиментации за годы исследований (16,9–17,5%; 34,8–41,3%; 50–67 мл) среди изученных образцов; в этих сортах идентифицированы маркерные гены *ipbb_ta_219*, *ipbb_ta_220*, *ipbb_ta_258*, *ipbb_ta_261*. Эта особенность может быть использована как фактор при отборе генотипов для улучшения качества зерна озимой пшеницы в селекционных программах. Выделены образцы, несущие максимальное число благоприятных аллелей, оказывающих положительный эффект на экспрессию признаков качества зерна (табл. 3).

Таблица 3. Характеристика качества зерна сортов озимой пшеницы с максимальным числом благоприятных аллелей (2022–2023 гг.)
Table 3. Characteristics of grain quality of winter wheat varieties with the maximum number of favorable alleles (2022–2023)

Сорт	Содержание белка, %	Содержание клейковины, %	Зольность зерна, %	Индекс глютена, %	Седиментация, мл	Масса 1000 зерен, г	Урожайность, г/м ²
Федеральный Ростовский АНЦ							
Донна	13,2	25,8	1,73*	97,5	45,8	37,8*	378*
Золушка	14,3	29,9	1,78*	96,1	37,0	34,9*	376*
Донская Лира	14,0	29,0	1,66	97,1	36,0	37,9*	368*
АНЦ «Донской»							
Донской Маяк	15,1	30,4	1,78*	98,9*	61,5*	37,3*	329
Конкурент	15,6*	33,3*	1,71	98,7*	63,0*	40,3*	243
Находка	16,9*	38,4*	1,48	85,2	67,0*	35,8*	234
Ростовчанка 7	16,8*	38,2*	1,93*	97,4	66,5*	34,7*	150
Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко							
Линия К 18918	15,6*	34,0*	1,82*	88,9*	53,0	31,2*	316
Дуплет	15,8*	32,8*	2,11*	99,1*	53,0	43,6*	267
Безостая 1, st	15,4	33,5	1,61	97,2	57,5	37,9	313
Омская 4, st	15,1	31,3	1,67	97,8	54,4	25,7	335
НСР ₀₅	0,45	1,39	0,05	0,67	4,04	2,15	21,3

Примечание. * – достоверное превышение над стандартом Омская 4.

Анализ KASP-маркеров, идентифицированных у данных сортов, показал деление генотипов на две группы в зависимости от фенотипического проявления признаков. Сорта Донской Маяк, Конкурент, Находка, Ростовчанка 7, Дуплет и линия К 18918 отличались лучшими технологическими признаками зерна (белок >15 %, клейковина >30 %, индекс глютена >85 % и седиментация ≥53 %) и большим аллельным разнообразием маркеров, сопряженных с этими признаками: *ipbb_ta_219*, *ipbb_ta_220*, *ipbb_ta_258*, *ipbb_ta_261*, *ipbb_ta_272*, *ipbb_ta_275*, *ipbb_ta_278*, *ipbb_ta_283* в разных сочетаниях. Зольность зерна этих сортов составила 1,48–2,11% при низкой вариабельности признака между изученными генотипами.

Сорта Донна, Золушка, Донская Лира превосшли по урожайности стандарт Омская 4 (368–378 г/м²), но количество выявленных благоприятных аллелей SNP-локусов у них ниже (*ipbb_ta_219*, *ipbb_ta_220*, *ipbb_ta_258*, *ipbb_ta_261*, *ipbb_ta_272*, *ipbb_ta_275*). Следует отметить, что фенотипическая выраженность признаков качества у этих сортов соответствует требованиям, предъявляемым к сильной пшенице, за исключением седиментации (36–45,8 мл), которая лишь косвенно характеризует качество клейковины. Стандарты Омская 4 (*ipbb_ta_220*, *ipbb_ta_258*, *ipbb_ta_261*, *ipbb_ta_283*) и Безостая 1 (*ipbb_ta_219*, *ipbb_ta_220*, *ipbb_ta_261*, *ipbb_ta_272*) несут благоприятные аллели четырех локусов, ассоциированных с признаками накопления белка, клейковины и седиментации.

Выводы. Выявлен значительный полиморфизм среди сортов озимой пшеницы различных селекционных учреждений по SNP-локусам и источники с наибольшим числом благоприятных аллелей (10–11) по изученным SNP-локусам, которые рекомендуются в качестве нового исходного материала для улучшения

сорта озимой пшеницы по качеству зерна: Донна, Золушка, Донская Лира (Ростовский АНЦ), Донской Маяк, Конкурент, Находка, Ростовчанка 7 (АНЦ «Донской»), Дуплет, линия К 18918 (Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко).

Отличительной особенностью сортов селекции Федерального Ростовского АНЦ с высоким потенциалом продуктивности (341 г/м²) является более низкий полиморфизм по SNP-локусам, сцепленным с генами, оказывающими положительный эффект на формирование высококачественного зерна.

Сорта из АНЦ «Донской» и Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко отличались меньшей урожайностью (244–276 г/м²), но лучшими технологическими признаками зерна (белок >15 %, клейковина >30 %, индекс глютена >95 % и седиментация ≥55 %), включая большее аллельное разнообразие локусов, сопряженных с этими признаками.

Наибольшая частота встречаемости выявлена для благоприятных аллелей локусов *ipbb_ta_257* (0,865), натура зерна; *ipbb_ta_220* (0,990), *ipbb_ta_261* (0,932), содержание белка; *ipbb_ta_219* (0,833), *ipbb_ta_220* (0,990), содержание клейковины; *ipbb_ta_274* (0,969), стекловидность зерна. Выявлен плейотропный эффект SNP-локусов *ipbb_ta_220* и *ipbb_ta_258* на несколько признаков одновременно у сортов Маркиз, Антонина, Гурт (Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко), имевших высокие значения белка, клейковины и седиментации (16,9–17,5%; 34,8–41,3%; 50–67 мл). Эта особенность может быть использована как фактор при отборе генотипов для улучшения качества зерна озимой пшеницы в селекционных программах.

Финансирование. Исследования проведены при поддержке Российского научного фонда (соглашение № 23-16-20006 от 20.04.2023 г.).

Библиографические ссылки

1. Галимова А.А., Кулуев А.Р., Исмагилов К.Р., Кулуев Б.Р. Генетический полиморфизм локусов высокомолекулярных субъединиц глютенина у сортообразцов мягкой пшеницы Предуральской степной зоны // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 27 (4), С. 297–305. DOI: 10.18699/VJGB-23-36
2. Каракотов С.Д., Карлов Г.И., Прянишников А.И., Дивашук М.Г., Хверенец С.Е., Титов В.Н., Попова В.М. К использованию алгоритмов маркерной селекции для улучшения сортов озимой пшеницы // Вестник аграрной науки. 2022. Т. 3 (96), С. 8–17. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.8
3. Лагуновская, Е.В. Оценка гомозиготности и аллельного состава генов, ассоциированных с хозяйственно ценными признаками, у диний удвоенных гаплоидов пшеницы и тритикале // Молекулярная и прикладная генетика. 2023. Т. 34, С. 28–40.
4. Никитина Е.А., Архипов А.В., Минькова Я.В., Яновский А.С., Коробкова В.А., Самарина М.А., Черноок А.Г., Крупин П.Ю., Карлов Г.И., Дивашук М.Г. Конкурентная аллель-специфичная ПЦР (KASP): особенности, интерпретация результатов // Известия ТСХА. 2022. Вып. 6. С. 79–93.
5. Потоцкая И.В., Шаманин В.П., Шепелев С.С., Пожерукова В.Е., Моргунов А.И. Фенотипическая и генотипическая оценка линий гексаплоидной синтетической пшеницы с геномом Ae. *tauschii* (AABBDD) по параметрам зерновки в условиях Западной Сибири // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 1. С. 15–26. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.1.15rus
6. Сандухадзе, Б.И. Селекция озимой пшеницы – важнейший фактор повышения урожайности и качества // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 11. С. 4–6.
7. Шаптуренко М.Н., Вакула С.В., Корзун В., Хотылева Л.В. SNP-анализ генетического разнообразия пшеницы Беларуси // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2016. Т. 60 (4), С. 98–103.
8. Amalova A., Yermekbayev K., Griffiths S., Abugalieva S., Babkenov A., Fedorenko E., Abugalieva A., Turuspekov Y. Identification of quantitative trait loci of agronomic traits in bread wheat using a Pamyati

Azieva× Paragon mapping population harvested in three regions of Kazakhstan // PeerJ. 2022. Vol. 10, Article number: e14324.

9. Cha J.-K., Park H., Kwon Y., Lee S.-M., Oh K.-W., Lee J.-H. Genotyping the High Protein Content Gene NAM-B1 in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and the Development of a KASP Marker to Identify a Functional Haplotype // Agronomy. 2023. Vol. 13, Article number: 1977. DOI: 10.3390/agronomy13081977

10. Kaur B., Mavi G. S., Gill M. S., Saini D. K. Utilization of KASP technology for wheat improvement // Cereal Research Communications. 2020. Vol. 48, P. 409–421. DOI: 10.1007/s42976-020-00057-6

References

1. Galimova A.A., Kuluev A.R., Ismagilov K.R., Kuluev B.R. Geneticheskii polimorfizm lokusov vysokomolekulyarnykh sub"edinit glyutenina u sortoobraztsov myagkoi pshenitsy Predural'skoi stepnoi zony [Genetic polymorphism of loci of high molecular weight glutenin subunits in the common wheat varieties of the Cis-Ural steppe zone] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2023. T. 27(4), S. 297–305. DOI: 10.18699/VJGB-23-36

2. Karakotov S.D., Karlov G.I., Pryanishnikov A.I., Divashuk M.G., Khverenets S.E., Titov V.N., Popova V.M. K ispol'zovaniyu algoritmov markernoi selektsii dlya uluchsheniya sortov ozimoi pshenitsy [Towards the use of marker breeding algorithms to improve winter wheat varieties] // Vestnik agrarnoi nauki. 2022. T. 3(96), S. 8–17. DOI: 10.17238/issn2587-666X.2022.3.8

3. Lagunovskaya, E.V. Otsenka gomozigotnosti i allel'nogo sostava genov, assotsiirovannykh s khozyaistvenno tsennymi priznakami, u dinii udvoennykh gaploidov pshenitsy i tritikale [Estimation of homozygosity and allelic composition of genes associated with economically valuable traits in lines of doubled haploids of wheat and triticale] // Molekulyarnaya i prikladnaya genetika. 2023. T. 34, S. 28–40.

4. Nikitina E.A., Arkhipov A.V., Min'kova Ya. V., Yanovskii A.C., Korobkova V.A., Samarina M.A., Chernook A.G., Krupin P. Yu., Karlov G.I., Divashuk M.G. Konkurentnaya allel'-spetsifichnaya PTsR (KASP): osobennosti, interpretatsiya rezul'tatov [Competitive allele-specific PCR (KASP): features, interpretation of results] // Izvestiya TSKhA. 2022. Vyp. 6, S.79–93.

5. Pototskaya I.V., Shamanin V.P., Shepelev S.S., Pozherukova V.E., Morgunov A.I. Fenotipicheskaya i genotipicheskaya otsenka linii geksaploidnoi sinteticheskoi pshenitsy s genomom Ae. *tauschii* (AABBDD) po parametram zernovki v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Phenotypic and genotypic estimation of hexaploid synthetic wheat lines with the Ae genome. *tauschii* (AABBDD) according to grain parameters in Western Siberia] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 2020. T. 55, № 1. S. 15–26. DOI: 10.15389/agrobiologiya.2020.1.15rus

6. Sandukhadze, B.I. Selekttsiya ozimoi pshenitsy – vazhneishii faktor povysheniya urozhainosti i kachestva [Winter wheat breeding is the most important factor in improving productivity and quality] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2010. № 11. S. 4–6.

7. Shapturenko M.N., Vakula S.V., Korzun V., Khotyleva L.V. SNP-analiz geneticheskogo raznoobraziya psheniitsy Belarusi [SNP-analysis of genetic diversity of wheat in Belarus] // Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi. 2016. T. 60(4), S. 98–103.

8. Amalova A., Yermekbayev K., Griffiths S., Abugalieva S., Babkenov A., Fedorenko E., Abugalieva A., Turuspekov Y. Identification of quantitative trait loci of agronomic traits in bread wheat using a Pamyati Azieva× Paragon mapping population harvested in three regions of Kazakhstan // PeerJ. 2022. Vol. 10, Article number: e14324.

9. Cha J.-K., Park H., Kwon Y., Lee S.-M., Oh K.-W., Lee J.-H. Genotyping the High Protein Content Gene NAM-B1 in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and the Development of a KASP Marker to Identify a Functional Haplotype // Agronomy. 2023. Vol. 13, Article number: 1977. DOI: 10.3390/agronomy13081977

10. Kaur B., Mavi G. S., Gill M. S., Saini D. K. Utilization of KASP technology for wheat improvement // Cereal Research Communications. 2020. Vol. 48, P. 409–421. DOI: 10.1007/s42976-020-00057-6

Поступила: 07.03.24; доработана после рецензирования: 07.04.24; принята к публикации: 09.04.24.

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

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Потоцкая И.В. – анализ данных, обзор литературы и написание статьи; Шепелев С.С. – выполнение полевых опытов, сбор данных, математическая обработка; Чурсин А.С. – проведение полевых исследований; Ковальчук А.М. – проведение полевых исследований; Шаманин В.П. – концептуализация и интерпретация результатов исследований.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.