

СОДЕРЖАНИЕ БЕЛКА И КРАХМАЛА В ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В РАЗЛИЧНЫЕ СТАДИИ РОСТА И СОЗРЕВАНИЯ

И. И. Шарапов, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, scharapov86@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7222-9993;

Ю. А. Шарапова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, belyaeva.u.a@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0197-8513;

М. Р. Абдряев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой пшеницы, ORCID ID: 0000-0002-3795-5869

*Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства
имени П. Н. Константинова,*

446442, Самарская обл., Кинельский р-н, пгт. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, д. 76

Исследования проводили в 2018, 2019 и 2021 гг. на опытных полях Поволжского НИИСС. Объектом исследования служил сорт озимой мягкой пшеницы Поволжская нива. Целью исследования было изучение процесса накопления белка и крахмала в зерне озимой пшеницы в разные стадии роста и созревания, в различных метеоусловиях вегетационного периода. С этой целью проводили отбор колосьев в шести стадиях роста и созревания зерна озимой пшеницы (по шкале BBCH). Колосья высушивали до 14%-й влажности. Содержание белка и крахмала определяли на инфракрасном анализаторе «ИнфраЛюм ФТ». Метеоусловия отличались контрастностью, ГТК за период роста и созревания зерна озимой пшеницы в 2018 и 2019 гг. характеризовался как сухой (0,1 и 0,2 соответственно), а 2021 г. – как очень засушливый (0,65). Самый низкий показатель содержания белка отмечался в 2018 г. (11–13 %), самым высоким он был в 2021 г. (13–15 %). Низкое содержание белка отмечалось в стадии поздней молочной спелости (в среднем за 3 года 12 %), высокое – в стадии ранней полной спелости (в среднем за 3 года 14 %). За годы исследований содержание крахмала в зерне озимой пшеницы было высоким. Варьирование содержания крахмала в зерне пшеницы по стадиям роста и созревания зависело в большей степени от метеоусловий годов исследования. В стадиях средней и поздней молочной спелости наблюдалась положительная сильная корреляционная зависимость между содержанием белка и содержанием крахмала (0,859 и 0,951 соответственно). Начиная со стадии ранней восковой спелости и до ранней полной спелости отмечалась отрицательная корреляционная зависимость (от средней статистической – 0,588 до сильно отрицательной – 0,987).

Ключевые слова: озимая пшеница, стадии созревания, метеоусловия, белок, крахмал

Для цитирования: Шарапов И. И., Шарапова Ю. А., Абдряев М. Р. Содержание белка и крахмала в зерне озимой пшеницы в различные стадии роста и созревания // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 3. С. 59–64. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-98-3-59-64.



PROTEIN AND STARCH CONTENT IN WINTER WHEAT GRAIN AT DIFFERENT STAGES OF GROWTH AND MATURATION

I. I. Sharapov, Candidate of Agricultural Sciences, researcher of the laboratory for winter wheat selection and seed growing, scharapov86@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7222-9993;

Yu. A. Sharapova, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for winter wheat selection and seed growing, belyaeva.u.a@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-0197-8513;

M. R. Abdryaev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for winter wheat selection and seed growing, ORCID ID: 0000-0002-3795-5869

*Samara Federal Research Scientific Center RAS,
Volga Research Institute of Selection and Seed Growing named after P. N. Konstantinov,
446442, Samara region, Kinel, Ust-Kinelsky, Shosseynaya str., 76*

The current study was conducted in 2018, 2019 and 2021, on the experimental plots of the Volga Region RIBSP. The object of the study was the winter common wheat variety 'Povolzhskaya Niva'. The purpose was to study the process of protein and starch accumulation in winter wheat grain at different stages of growth and maturation, under different weather conditions of the vegetation period. For this purpose, ears were selected at 6 stages of growth and maturation of winter wheat grain (according to the BBCH scale). The ears were dried to 14 % moisture. Protein and starch content was estimated by the InfraLum FT infrared analyzer. The weather conditions were contrasting, the HTC for the period of growth and maturation of winter wheat grain in 2018 and 2019 was characterized as dry (0.1 and 0.2, respectively), and 2021 as very dry (0.65). The lowest protein percentage in grain was identified in 2018 (11–13 %), the highest was in 2021 (13–15 %). Low protein percentage was established at the stage of late milk maturity (12 % on average for 3 years), and at the stage of early full maturity it was high (14 % on average for 3 years). Over the years of study, the starch content in winter wheat grain was high. Starch content in wheat grain at the stages of growth and maturation varied due to a greater extent on the weather conditions of the years of study. At the stages of middle and late milk maturity, there was a positive strong correlation between protein and starch content (0.859

and 0.951, respectively). Starting from the stage of early wax maturity and up to early full maturity, there was a negative correlation (from the mean statistical of 0.588 to the strong statistical of 0.987).

Keywords: winter wheat, stages of maturity, weather conditions, protein, starch

Введение. Пшеница является основной продовольственной культурой в мире. Для 40 % населения планеты пшеница – основной источник белка (Kartseva et al., 2023). В зерне пшеницы содержатся белок, крахмал и другие вещества (клетчатка, минералы, витамины), полезные для здоровья человека (Szafranska et al., 2024). Высокое содержание белка позволяет производить продукты с высоким качеством (Horváth, 2014).

Основными веществами зерна пшеницы являются крахмал и белок. В последние годы появляется много новых данных о синтезе белка и крахмала в зерне (Кондратенко и др., 2015).

Основное влияние на содержание белка в зерне оказывают генотип сорта и метеоусловия в период роста и развития растений (Elbasyoni et al., 2018). Данные факторы влияют на синтез и накопление белка (Peng et al., 2022). Генотип является основным фактором, определяющим урожайность белка в зерне (Yu et al., 2018).

Абиотические факторы влияют на реализацию генетического потенциала накопления белка в зерне пшеницы. Отмечается изменение структуры белка под действием высоких температур, при этом отмечается увеличение количества белка в зерне (Пахотина и др., 2021; Kulyk et al., 2020).

Обильные осадки, выпавшие в определенные фазы развития озимой пшеницы, оказывают влияние на содержание белка в зерне, снижая его количество (Jolankai et al., 2018; Kulyk et al., 2020).

Крахмал – это основной запасной углевод в зерне пшеницы, его содержание колеблется в пределах 65–75 % сухого вещества пшеницы. В зависимости от сорта крахмал может составлять 2/3 массы зерновки. (Yu et al., 2015; Кондратенко и др., 2015).

Процесс накопления крахмала в зерне пшеницы сильно снижается при тепловом стрессе. Термоустойчивость сортов пшеницы оказывает влияние на накопление крахмала при тепловом воздействии (Li et al., 2018). При недостатке влаги и высоких температурах отмечается образование щуплого зерна, так как снижается процесс синтеза и накопления крахмала (Рубец и др., 2021; Шарапов и др., 2023). Повышенная влажность в период налива зерна пшеницы, способствует большему накоплению крахмала (Пашкова и Бурова, 2019).

Целью исследований было изучение процесса накопления белка и крахмала в разные стадии роста и созревания зерна озимой мягкой пшеницы в различных метеоусловиях вегетационного периода.

В связи с этим ставились следующие задачи:

- определить содержание белка и крахмала в разных стадиях роста и созревания зерна озимой пшеницы.

- определить влияние метеоусловий года на содержание белка и крахмала в зерне озимой пшеницы.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2018, 2019 и 2021 гг. в Поволжском НИИС им. П. Н. Константинова на одном селекционном севообороте в агроценозе озимой пшеницы сорта Поволжская нива (включен в реестр в 2017 г.). Чередование культур на одном селекционном севообороте: черный пар – озимая пшеница – лен – яровая пшеница – яровой ячмень – сорговые культуры.

Стадии развития и созревания зерна (по шкале BBCH).

Молочная спелость – диагностика стадии основана на определении цвета и содержимого зерновки:

- средняя молочная спелость – зерна зеленые, содержимое молочного цвета;

- поздняя молочная спелость – меняется цвет, консистенция и размер зерна. Зерно достигает своего окончательного размера.

Восковая спелость – диагностика стадии основана на определении плотности зерновки и цвета колоса:

- ранняя восковая спелость – при надавливании на зерновку ногтем отпечатка не остается;

- мягкая восковая спелость – содержимое зерновки еще мягкое, но сухое, вмятина от ногтя выпрямляется;

- твердая восковая спелость – вмятина от ногтя не выпрямляется;

- ранняя полная спелость – зерно твердое с трудом разламывается ногтем большого пальца.

При наступлении каждой фазы набирали колосья, которые отправляли в лабораторию. В лабораторных условиях колосья просушивали до 14,0%-й влажности и обмолачивали. Сушку проводили в сушильном шкафу «Brabender». Полученное после обмолота зерно анализировали на инфракрасном анализаторе «ИнфраЛЮМ ФТ» на содержание белка и крахмала в зерне.

Метеоусловия, за период развития и созревания зерна озимой пшеницы в годы исследования отличались от среднемноголетних значений (табл. 1).

Сумма активных температур за период развития и созревания зерна превышала среднемноголетнее значение в 2018 г. на 10,5 %, в 2019 г. – на 7,5 %, в 2021 г. – на 13,0 %.

За годы исследования отмечалось низкое количество осадков, выпавших за период развития и созревания зерна. В 2018 г. выпало 6,0 мм, в 2019-м выпало 13,3 мм, в 2021-м – 45,4 мм, что ниже нормы на 89, 75 и 16 % соответственно. ГТК за период развития и созревания зерна в 2018 и 2019 гг. характеризовался как очень сухой (0,1 и 0,2 соответственно), в 2021 г. как засушливый (0,65).

Таблица 1. Метеоусловия за 2018–2019, 2021 гг. и среднемноголетние значения в период развития и созревания зерна озимой пшеницы
Table 1. Weather conditions in 2018–2019, 2021 and average long-term values during the periods of development and maturation of winter wheat grain

Показатели	Среднемноголетнее значение	2018	2019	2021
Сумма активных температур > 10 °C	619,0	683,8	665,2	700,0
Количество осадков	54,1	6,0	13,3	45,4
ГТК по Селянинову	0,87	0,1	0,2	0,65

За годы исследования самые засушливые условия в период развития и созревания зерна сложились в 2018 г., более благоприятным был 2021 год.

Результаты и их обсуждение. За годы исследования содержание белка и крахмала варьировало в зависимости от метеоусловий и стадий развития и созревания зерна озимой пшеницы (табл. 2)

Таблица 2. Содержание белка и крахмала в зерне озимой мягкой пшеницы по стадиям роста и созревания за 2018, 2019 и 2021 годы
Table 2. Protein and starch content in winter common wheat grain according to the stages of growth and maturation in 2018, 2019 and 2021

Стадии созревания зерновки	Поволжская нива							
	2018		2019		2021		Среднее	
	белок, %	крахмал, %	белок, %	крахмал, %	белок, %	крахмал, %	белок, %	крахмал, %
Средняя молочная спелость	12,58	54,1	12,94	58,8	14,19	60,8	13,21	57,9
Поздняя молочная спелость	11,4	53,3	12,46	57,8	13,38	62,3	12,52	57,8
Ранняя восковая спелость	12,35	62,2	12,74	63,1	14,95	61,8	13,25	62,4
Мягкая восковая спелость	12,49	63,5	13,94	63,8	14,33	61,0	13,59	62,8
Твердая восковая спелость	12,13	62,7	13,82	62,2	14,77	60,6	13,57	61,8
Ранняя полная спелость	13,35	63,4	15,24	60,6	15,46	59,6	14,68	61,2
НСР ₀₅	0,13	3,2	0,24	1,7	0,27	0,54	0,2	1,8

Низкое содержание белка отмечалось в очень засушливом 2018 году. В зависимости от стадии развития зерна пшеницы содержание белка колебалось в пределах от 11,44 до 13,35 %. По сравнению с предыдущими стадиями развития зерна озимой пшеницы снижение количества белка отмечалось в стадии поздней молочной спелости (на 9,0 %) и в стадии твердой восковой спелости (на 3,0 %). Высокое количество белка отмечалось в стадии ранней полной спелости.

В 2019 г. показатель содержания белка был выше, чем в 2018 г. В зависимости от стадии развития зерна он колебался в пределах от 12,46 до 15,24 %. Снижение количества белка наблюдалось в стадии поздней молочной спелости, ранней восковой спелости и твердой восковой спелости на 1,5, 2,0 и 1,0 % соответственно по сравнению с предыдущими стадиями развития зерна пшеницы. Наибольшее количество белка наблюдалось в раннюю полную спелость.

В 2021 г. наблюдался самый высокий показатель содержания белка в зерне пшеницы в разные стадии развития, он варьировал от 13,38 до 15,46 %. Снижение количества

белка отмечалось в стадии поздней молочной спелости и мягкой восковой спелости на 6,0 и 4,0 % соответственно.

В среднем за годы исследования содержание белка варьировало от 12,52 до 14,68 % в зависимости от стадии развития и созревания зерна. Самое низкое содержание белка отмечалось в стадии поздней молочной спелости, максимум отмечался в стадии ранней восковой спелости.

Содержание крахмала варьировало по годам и стадиям развития и созревания зерна озимой пшеницы.

В 2018 г. в сложившихся метеоусловиях в период роста и созревания зерна озимой мягкой пшеницы наблюдалось сильное колебание количества крахмала. Начиная со стадии средней молочной спелости наблюдалось его снижение и к стадии поздней молочной спелости отмечалось минимальное содержание – 53,3 %. На стадии ранней восковой спелости наблюдалось повышение количества крахмала и максимальное содержание отмечалось в стадии мягкой восковой спелости – 63,5 %. К стадии твердой восковой спелости наблюдалось незначительное снижение показателя до 62,7 %,

затем наблюдался рост, и в стадию ранней полной спелости он составлял 63,4 %.

В 2019 г. при сложившихся погодных условиях отмечалось одно повышение количества крахмала в зерне, которое начиналось со стадии поздней молочной спелости и достигало максимума в мягкую восковую спелость (63,8 %). Затем наблюдалось снижение количества крахмала в зерне до стадии ранней полной спелости (60,6 %).

В 2019 г. содержание крахмала было выше по сравнению с 2018 г., что связано с выпадением осадков и снижением температуры воздуха в 3-й декаде июня ближе к концу налива зерна, а в 2018 г. основное снижение температуры и выпадение осадков отмечались в 1-й декаде июне в самом начале налива зерна.

В 2021 г. повышение количества крахмала в зерне начиналось со стадии средней молочной спелости и достигало максимума в позднюю молочную спелость (составляло 62,3 %). Со стадии ранней восковой спелости наблюдалось снижение количества крахмала в зерне до стадии ранней полной спелости, где оно достигало минимального показателя (59,6%).

В среднем за 3 года исследований низкое содержание крахмала в зерне озимой пшеницы наблюдалось в стадии поздней молочной спелости (57,8 %), затем начиналось повышение показателя, и в стадии мягкой восковой спелости отмечался максимум (62,8 %). При дальнейшем созревании зерна наблюдалось сниже-

ние уровня крахмала в зерне до стадии ранней полной спелости.

В стадию средней молочной спелости минимальное содержание крахмала отмечалось в 2018 г. (54,1 %), максимальный показатель – в 2021 г. (60,8 %). В стадии поздней молочной спелости минимальное содержание крахмала было в 2018 г. (53,3 %), максимальное значение – в 2021 г. (62,3 %). В стадии ранней восковой спелости минимальное значение содержания крахмала было зафиксировано в 2021 г. (61,8 %), максимальное – в 2019 г. (63,1 %). В стадии мягкой восковой спелости минимальное количество крахмала отмечалось в 2021 г. (61,0 %), максимум – в 2019 г. (63,8). В стадии твердой восковой спелости минимальный показатель содержания крахмала был в 2021 г. (60,6 %), максимальный – в 2018 г. (62,7 %). В стадию ранней полной спелости минимальное количество крахмала отмечалось в 2021 г. (59,6 %), максимальное – в 2018 г. (63,4 %).

Таким образом, основное влияние на содержание крахмала оказывают метеоусловия года вегетации.

Метеоусловия оказывают влияние на показатели содержания белка и крахмала в зерне озимой пшеницы. Большее влияние оказывают метеоусловия на накопление крахмала в зерне, чем на показатель количества белка.

Проводился анализ корреляционной зависимости содержания белка и содержания крахмала ($p = 0,05$) (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционная зависимость между содержанием белка и содержанием крахмала по стадиям роста и созревания зерна озимой пшеницы
Table 3. Correlation between protein and starch content according to the stages of growth and maturation of winter wheat grain

Стадии созревания зерна пшеницы	Средняя молочная спелость	Поздняя молочная спелость	Ранняя восковая спелость	Мягкая восковая спелость	Твердая восковая спелость	Ранняя полная спелость
Белок/крахмал	0,859	0,981	-0,711	-0,588	-0,899	-0,987
Sr	0,512	0,195	0,702	0,808	0,438	0,161

В стадиях средней молочной спелости и поздней молочной спелости отмечалась сильная положительная корреляционная зависимость, которая составляла 0,859 и 0,981 соответственно. Начиная со стадии ранней восковой спелости наблюдалась отрицательная корреляционная зависимость между исследуемыми показателями, которая колебалась от средней статистической зависимости в стадии мягкой восковой спелости (-0,588) до сильной статистической зависимости в стадии ранней полной спелости (-0,987).

Выводы. По результатам исследований отмечалось влияние метеоусловий года на накопление белка и крахмала в зерне озимой мягкой пшеницы в разные стадии роста и созревания. Низкое содержание белка отмечалось в сухом 2018 г. (11–13 %), высокий показатель был в засушливом 2021 г. (13–15 %). Низкое содержание белка в зерне озимой

пшеницы отмечалось в стадии поздней восковой спелости, высокий показатель – в стадии ранней полной спелости. Содержание крахмала варьировало по стадиям роста и созревания зерна в зависимости от метеоусловий. Отмечалась положительная корреляционная зависимость между содержанием белка и содержанием крахмала в зерне озимой пшеницы в стадиях средней молочной спелости и поздней молочной спелости. При дальнейшем созревании зерна озимой пшеницы наблюдалась отрицательная корреляционная зависимость, которая колебалась от средней статистической до сильной статистической.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема № FMRW-2022-0017).

Библиографический список

1. Кондратенко Е. П., Константинова О. Б., Соболева О. М., Ижмулкина Е. А. Накопление углеводов и жира в зерне озимых культур в зависимости от сортовых особенностей // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 8. С. 27–34.
2. Пахотина И. В., Игнатьева Е. Ю., Россеева Л. П., Белан И. А., Омелянюк Л. В. Особенности формирования содержания белка в зерне пшеницы мягкой яровой в условиях Западной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2021. № 5. С. 37–45. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-37-45
3. Пашкова Г. И., Бурова Н. О. Влияние погодно-климатических условий на качество зерна яровой пшеницы, используемой в технологии вакуумной сушки // Вестник Марийского государственного университета. 2019. Т. 5, № 4(20). С. 407–413. DOI: 10.309114/2411-9687-2019-5-4-407-413
4. Рубец В. С., Ворончихина И. Н., Пыльнев В. В., Ворончихин В. В., Маренкова А. Г. Влияние метеорологических условий на качество зерна яровой пшеницы (*Triticum L.*) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 5. С. 89–108. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-89-108
5. Шарапов И. И., Шарапова Ю. А., Абдраев М. Р. Влияние метеословий на урожайность и содержание белка в зерне озимой пшеницы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53, № 9. С. 40–48. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-9-5
6. Elbasyoni I. S., Morsy S. M., Ramamurthy R. K., Nassar A. M. Identification of Genomic Regions Contributing to Protein Accumulation in Wheat under Well-Watered and Water Deficit Growth Conditions // Plants. 2018. №7(3). P. 1–15. DOI: 10.3390/plants7030056
7. Horváth C. Storage proteins in wheat (*Triticum aestivum L.*) and the ecological impacts affecting their quality and quantity, with a focus on nitrogen supply // Columella Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 2014. № 2(2). P. 55–76. DOI: 10.18380/SZIE.COLUM.2014.1.2.57
8. Jolankai M., Kassai M. K., Tarnava A., Poza B., Birkash M. Influence of precipitation and temperature on grain and protein yields in wheat varieties (*Triticum aestivum L.*) // Idojaras. 2018. Vol. 122(1), P. 31–40. DOI: 10.28974/IDOJARAS.2018.1.3
9. Kartseva T., Alqudah A., Aleksandrov V., Alomari D., Doneva D., Arif M., Börner A., Misheva S. Nutritional Genomic Approach for Improving Grain Protein Content in Wheat // Foods. 2023. № 12. P. 1–22. DOI: 10.3390/foods12071399
10. Kulyk M. I., Rozhkov A. O., Kalinichenko O. V., Taranenko A. O., Onoprienko O. V. Effect of winter wheat variety, hydrothermal coefficient (HTC) and thousand kernel weight (TKW) on protein content, grain and protein yield // Agronomy Research. 2020. Vol. 18(3), P. 2103–2116. DOI: 10.15159/ar.20.187
11. Li R., Hou L., Zhang A., Lu Y., Song W., Tadesse W., Xiaoming W., Liu M., Zheng W., Xu S. Heat stress in filling stage confers distinct effect on starch granules formation in different thermotolerant wheat accessions // Pakistan journal of botany. 2018. Vol. 50(3), P. 913–920. DOI: hdl.handle.net/20.500.11766/67306
12. Peng Y., Zhao Y., Yu Z., Zeng J., Xu D., Dong J., Ma W. Wheat Quality Formation and Its Regulatory Mechanism // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, P. 1–17. DOI: 10.3389/fpls.2022.834654
13. Szafranska A., Podolska G., Swider O., Kotyrba D., Aleksandrowicz E., Podolska-Charlery A., Roszko M. Factors Influencing the Accumulation of Free Asparagine in Wheat Grain and the Acrylamide Formation in Bread // Agriculture. 2024. Vol. 14(2), P. 1–19. DOI: 10.3390/agriculture14020207
14. Yu X., Li B., Wang L., Chen X., Wang W., Wang Z., Xiong F. Systematic Analysis of Pericarp Starch Accumulation and Degradation during Wheat Caryopsis Development // PLoS One. 2015. Vol. 10(9), P. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0138228
15. Yu Z., Islam S., She M., Diepeveen D., Zhang Y., Tang G., Zhang J., Juhasz A., Yang R., Ma W. Wheat grain protein accumulation and polymerization mechanisms driven by nitrogen fertilization // The Plant Journal. 2018. Vol. 96(6), P. 1160–1177. DOI: 10.1111/tpj.14096

References

1. Kondratenko E. P., Konstantinova O. B., Soboлева O. M., Izhmulkina E. A. Nakoplenie uglevodov i zhira v zerne ozimyykh kul'tur v zavisimosti ot sortovykh osobennostei [Accumulation of carbohydrates and oil in winter crop grain depending on varietal features] Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 8. S. 27–34.
2. Pakhotina I. V., Ignat'eva E. Yu., Rosseeva L. P., Belan I. A., Omel'yanyuk L. V. Osobennosti formirovaniya soderzhaniya belka v zerne pshenitsy myagkoi yarovoi v usloviyakh Zapadnoi Sibiri [Features of protein content formation in spring common wheat grain in Western Siberia] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 5. S. 37–45. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-37-45
3. Pashkova G. I., Burova N. O. Vliyanie pogodno-klimaticheskikh uslovii na kachestvo zerna yarovoi pshenitsy, ispol'zuemoi v tekhnologii vakuumnoi sushki [The effect of weather and climate conditions on spring wheat grain quality used in vacuum drying technology] // Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. 2019. T. 5, № 4(20). S. 407–413. DOI: 10.309114/2411-9687-2019-5-4-407-413
4. Rubets V. S., Voronchikhina I. N., Pyl'nev V. V., Voronchikhin V. V., Marenkova A. G. Vliyanie meteorologicheskikh uslovii na kachestvo zerna yarovoi pshenitsy (*Triticum L.*) [The effect of weather conditions on spring wheat grain quality (*Triticum L.*)] // Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2021. № 5. S. 89–108. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-5-89-108
5. Sharapov I. I., Sharapova Yu. A., Abdryaev M. R. Vliyanie meteouсловий na urozhainost' i soderzhanie belka v zerne ozimoi pshenitsy [The effect of weather conditions on productivity and protein content in winter wheat grain] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2023. T. 53, № 9. S. 40–48. DOI: 10.26898/0370-8799-2023-9-5
6. Elbasyoni I. S., Morsy S. M., Ramamurthy R. K., Nassar A. M. Identification of Genomic Regions Contributing to Protein Accumulation in Wheat under Well-Watered and Water Deficit Growth Conditions // Plants. 2018. №7(3). P. 1–15. DOI: 10.3390/plants7030056

7. Horváth S. Storage proteins in wheat (*Triticum aestivum* L.) and the ecological impacts affecting their quality and quantity, with a focus on nitrogen supply// *Columella Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 2014. № 2(2). P. 55–76. DOI: 10.18380/SZIE.COLUM.2014.1.2.57
8. Jolankai M., Kassai M. K., Tarnava A., Poza B., Birkash M. Influence of precipitation and temperature on grain and protein yields in wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) // *Idojaras*. 2018. Vol. 122(1), P. 31–40. DOI: 10.28974/IDOJARAS.2018.1.3
9. Kartseva T., Alqudah A., Aleksandrov V., Alomari D., Doneva D., Arif M., Börner A., Misheva S. Nutritional Genomic Approach for Improving Grain Protein Content in Wheat// *Foods*. 2023. № 12. P. 1–22. DOI: 10.3390/foods12071399
10. Kulyk M. I., Rozhkov A. O., Kalinichenko O. V., Taranenko A. O., Onopriienko O. V. Effect of winter wheat variety, hydrothermal coefficient (HTC) and thousand kernel weight (TKW) on protein content, grain and protein yield // *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18(3), P. 2103–2116. DOI: 10.15159/ar.20.187
11. Li R., Hou L., Zhang A., Lu Y., Song W., Tadesse W., Xiaoming W., Liu M., Zheng W., Xu S. Heat stress in filling stage confers distinct effect on starch granules formation in different thermotolerant wheat accessions // *Rakistan journal of botany*. 2018. Vol. 50(3), P. 913–920. DOI: hdl.handle.net/20.500.11766/67306
12. Peng Y., Zhao Y., Yu Z., Zeng J., Xu D., Dong J., Ma W. Wheat Quality Formation and Its Regulatory Mechanism// *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13, P. 1–17. DOI: 10.3389/fpls.2022.834654
13. Szafranska A., Podolska G., Swider O., Kotyrba D., Aleksandrowicz E., Podolska-Charlery A., Roszko M. Factors Influencing the Accumulation of Free Asparagine in Wheat Grain and the Acrylamide Formation in Bread // *Agriculture*. 2024. Vol. 14(2), P. 1–19. DOI: 10.3390/agriculture14020207
14. Yu X., Li B., Wang L., Chen X., Wang W., Wang Z., Xiong F. Systematic Analysis of Pericarp Starch Accumulation and Degradation during Wheat Caryopsis Development // *PLoS One*. 2015. Vol. 10(9), P. 1–16. DOI:10.1371/journal.pone.0138228
15. Yu Z., Islam S., She M., Diepeveen D., Zhang Y., Tang G., Zhang J., Juhasz A., Yang R., Ma W. Wheat grain protein accumulation and polymerization mechanisms driven by nitrogen fertilization // *The Plant Journal*. 2018. Vol. 96(6), P. 1160–1177. DOI: 10.1111/tpj.14096

Поступила: 18.03.25; доработана после рецензирования: 21.04.25; принята к публикации: 21.04.25.

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. Шарапов И. И. – выполнение полевых опытов, сбор данных, подготовка рукописи; Шарапова Ю. А. – анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Абдюев М. Р. – сбор данных и их обработка.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.