



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 1. С. 76–86

Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2026, vol. 26, iss. 1, pp. 76–86

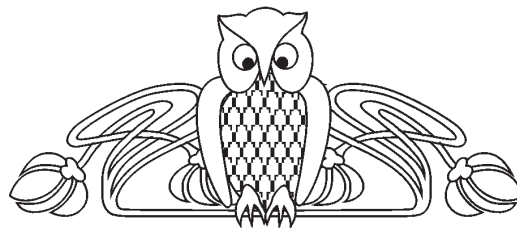
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-1-76-86>, EDN: NXBBVJ

Научная статья

УДК 664.64.014

Функциональные свойства линии фиолетовозёрной пшеницы hei730/C68//Эритроспермум223 саратовской селекции



М. К. Садыгова¹, Ж. А.-А. Конысбаева¹, Г. М. Шакенова¹, М. В. Каневский²,
В. С. Гринёв², С. Н. Сибикеев⁴, Л. В. Андреева⁴, З. Е. Фитилева⁴, А. А. Широков³ ✉

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Россия, 410012, г. Саратов, просп. им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

³Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов – обособленное структурное подразделение ФГБУН ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук», Россия, 410049, г. Саратов, просп. Энтузиастов, д. 13

⁴ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», Россия, 410010, г. Саратов, ул. Тулайкова, д. 7

Садыгова Мадина Карипулловна, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продуктов питания», sadigova.madina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9918-852X>

Конысбаева Жадыра Абдул-Ахметовна, магистрант Института биотехнологии, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8206-8356>

Шакенова Гульзат Маратовна, магистрант Института биотехнологии, gulzik_88@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2167-0374>

Каневский Матвей Владимирович, кандидат биологических наук, доцент кафедры биохимии и биофизики, matvejkanev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5932-6748>

Гринёв Вячеслав Сергеевич, доктор химических наук, доцент кафедры органической и биоорганической химии, grinev@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0627-6804>

Сибикеев Сергей Николаевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории генетики и цитологии, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8324-976X>

Андреева Любовь Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории качества зерна, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Фитилева Зульфия Ернazarовна, младший научный сотрудник лаборатории генетики и цитологии, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6751-3789>

Широков Александр Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории иммунохимии, shirokov_a@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4321-735X>

Аннотация. В условиях влияния негативных экологических и социальных факторов актуальной задачей становится продление активной жизни человека и сдерживание возрастных изменений. Одним из путей решения этих проблем является употребление в пищу продуктов, богатых антиоксидантами, такими как витамин Е, полифенолы, танины, антоцианы, каротиноиды. Селекционеры работают над расширением ресурсного потенциала сырья с функциональными свойствами. Одним из таких мировых трендов является выведение сортов пшеницы с фиолетовым зерном, которые богаты антиоксидантами. Обоснована перспективность линии фиолетовозерной пшеницы саратовской селекции для производства функциональных продуктов на основе оценки химического состава муки. Объект исследования – линия фиолетовозёрной пшеницы hei730/C68//Эритроспермум223 селекции лаборатории генетики и цитологии ФАНЦ Юго-Востока. Установлено, что содержание железа в фиолетовозёрной пшенице саратовской селекции больше на 21,9% по сравнению с краснозёрной пшеницей, при этом количество цинка меньше на 60%. По содержанию витаминов В1, В2, В6, В9 мука исследуемого сорта пшеницы не отличается от краснозёрной пшеницы, в то время как количество витамина Е почти в 4 раза меньше. Содержание фенольных соединений в спиртовом экстракте муки составило 84,6±5,2 мг/100 г муки. Методом ВЭЖХ установлено, что в составе экстракта муки из зерновок присутствуют две группы фенольных компонентов – гидрофильные и гидрофобные, последние преобладали в экстракте. Анализ антиоксидантной активности показал, что IC_{50} для спектра соединений, содержащихся в экстракте муки фиолетовозерной пшеницы hei730/C68//Эритроспермум223, составляет 19,7±0,9 мг/мл. Таким образом, новая линия фиолетовозёрной пшеницы саратовской селекции расширяет ассортимент сырья с функциональными свойствами.

Ключевые слова: фиолетовозёрная пшеница, антиоксиданты, фенольные соединения, антоцианы, функциональный ингредиент, биофортификация, антиоксидантная активность



Для цитирования: Садыгова М. К., Коньсбаева Ж. А.-А., Шакенова Г. М., Каневский М. В., Гринёв В. С., Сибикеев С. Н., Андреева Л. В., Фитилева З. Е., Широков А. А. Функциональные свойства линии фиолетовозёрной пшеницы hei730/C68//Эритроспермум223 саратовской селекции // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2026. Т. 26, вып. 1. С. 76–86. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-1-76-86>, EDN: NXBBYJ

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Functional traits of the Saratov-bred purple-grain wheat line hei730/c68//Erythrosperrum 223

M. K. Sadigova¹, Zh. A.-A. Konysbaeva¹, G. M. Shakenova¹, M. V. Kanevsky²,
V. S. Grinev², S. N. Sibikeev⁴, L. V. Andreeva⁴, Z. E. Fitileva⁴, A. A. Shirokov³✉

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, 3 bild, 4 Petr Stolypin Ave., Saratov 410012, Russia

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

³Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms – Subdivision of the Federal State Budgetary Research Institution Saratov Federal Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, 13 Entuziastov Ave., Saratov 410049, Russia

⁴Federal Agricultural Research Center of the Southeast, 7 Tulaykova St., Saratov 410010, Russia

Madina K. Sadigova, sadigova.madina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9918-852X>

Zhadyra A. Konysbaeva, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-8206-8356>

Gulzat M. Shakenova, gulzik_88_88@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-2167-0374>

Matvey V. Kanevsky, matvejkaney@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5932-6748>

Vyacheslav S. Grinev, grinev@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0627-6804>

Sergey N. Sibikeev, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8324-976X>

Lyubov V. Andreeva, l.v.andreeva_75@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3631-1084>

Zulfiya E. Fitileva, sibikeev_sergey@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6751-3789>

Alexander A. Shirokov, shirokov_a@ibppm.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4321-735X>

Abstract. In the context of the influence of negative environmental and social factors, prolonging human active life and curbing age-related changes have become an urgent task. One way to solve these problems is to eat foods rich in antioxidants, such as vitamin E, polyphenols, tannins, anthocyanins, carotenoids. Breeders work on expanding the resource potential of products with functional properties. One global trend is the development of wheat varieties rich in purple grain antioxidants. The article substantiates the prospects of the Saratov-bred purple-grained wheat line for production of functional products based on an assessment of the chemical composition of flour. The object of the study is the line of purple-grained wheat hei730/C68// Erythrosperrum223 selected by the laboratory of genetics and cytology of the Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region. The iron content in purple wheat bred in Saratov is significantly higher by 21,9% compared to red wheat, while zinc is significantly lower by 60%. In terms of vitamin B1, B2, B6, B9 content, the flour of the studied wheat variety does not differ from red wheat, while the amount of vitamin E is 2 times less. The content of phenolic compounds in the alcoholic extract of flour was 84,6±5,2 mg/100 g of flour. The HPLC method established that the flour extract from grains contains two groups of phenolic components – hydrophilic and hydrophobic, the latter prevailing in the extract. Analysis of antioxidant activity by the DPPH method showed that the IC₅₀ for the compounds contained in the flour extract of purple wheat is 19,7±0,9 mg/ml. Thus, the new line of purple-grained wheat of Saratov selection expands the range of products with functional properties.

Keywords: purple wheat, antioxidants, phenolic compounds, anthocyanins, functional ingredient, biofortification, antioxidant activity

For citation: Sadigova M. K., Konysbaeva Zh. A.-A., Shakenova G. M., Kanevsky M. V., Grinev V. S., Sibikeev S. N., Andreeva L. V., Fitileva Z. E., Shirokov A. A. Functional traits of the Saratov-bred purple-grain wheat line hei730/c68//Erythrosperrum 223. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2026, vol. 26, iss. 1, pp. 76–86 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2026-26-1-76-86>, EDN: NXBBYJ

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Улучшение качества жизни населения и его поддержание – основа национальной идеи здоровья и здорового образа жизни [1]. Основное сырьё в технологии мучных изделий – пшеничная мука. В настоящее время мировым трендом в селекции злаков является создание сортов с

окрашенным зерном, с повышенным содержанием антоцианов и других биологически активных компонентов [2–4].

Получены сорта с окрашенным зерном (красным, фиолетовым, голубым, чёрным) риса, сорго, кукурузы, пшеницы. Несмотря на широкое использование злаков с окрашенным зерном для производства продуктов функцио-



нального питания в странах Юго-Восточной Азии, в Европе и Северной Америке, в России это направление находится в начальной стадии развития. Стоит отметить, что успешная работа с фиолетовозёрными сортообразцами яровой пшеницы проводится в Омском ГАУ, Институте цитологии и генетики СО РАН, Татарском НИИСХ, ФИЦ КазНЦ РАН, ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, в Отделе отдаленной гибридизации ГБС РАН [5].

Фиолетовый оттенок зерна у пшеницы обусловлен присутствием цианидин-3-глюкозида. Это вещество является основным антоцианом в пшенице, главным образом сосредоточенным в перикарпии зерновки [6].

Согласно исследованию ученых РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева и ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, сорта яровой пшеницы с фиолетовыми зернами способны в условиях Нечернозёмной зоны формировать зерно, подходящее для хлебопечения. Однако отмечается, что качество зерна зависит от метеорологических условий вегетационного периода [7].

В НИИСХ – ОСП ФИЦ «Казанский НЦ РАН» ученые разработали новый сорт яровой мягкой пшеницы Надира. Этот сорт, отличающийся фиолетовым оттенком зерна, стал первым в Средневолжском регионе, обладающим повышенной антиоксидантной активностью спиртовых экстрактов зерна. Кроме того, сорт Надира демонстрирует высокий потенциал урожайности, достигающий 5,5 тонн с гектара. Для сорта Надира такие показатели, как среднее содержание белка в зерне, уровень сырой клейковины, разжижение теста, а также валориметрическая и общая хлебопекарная оценки отвечают стандартам, предъявляемым к высококачественным сортам [6].

В Омском аграрном университете выведены сорта пшеницы с фиолетовым цветом зерновок, предназначенные для применения в органическом земледелии. Эксперименты на мышах выявили, что включение зерновок фиолетовой пшеницы в рацион животных способствовало повышению когнитивных функций. Кроме того, были зафиксированы признаки восстановления нейронов, что подтвердилось анализом биохимических процессов в головном мозге [8]. В исследованиях многих ученых сообщается о пользе антоцианов для здоровья, включая противовоспалительное, противоопухолевое, противодиабетическое,

антивозрастное, нейропротекторное действие. Также их используют для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний [3, 8–10].

В зерне пшеницы имеются и такие минорные компоненты, как фенольные соединения (ФС), содержание которых обычно не превышает 0,5%, при этом употребление пищи, содержащей ФС, такой как цельное зерно злаков, способствует профилактике сердечно-сосудистых, метаболических и онкологических заболеваний [11]. Как известно, окраска зерна зависит от присутствия в оболочках плодов проантоцианидинов и антоцианов (АЦ), в случае фиолетовозёрных сортов окраску зерну придают АЦ, локализованные в перикарпии [2]. АЦ обладают высокой антиоксидантной активностью (АОА), поэтому фиолетовозёрные сорта пшеницы используются как дешевый источник антиоксидантов для производства функциональных продуктов питания из цельного зерна [12].

Цель данной работы: обоснование перспективности линии фиолетовозёрной пшеницы селекции ФАНЦ Юго-Востока для производства функциональных продуктов на основе оценки его химического состава.

Материалы и методы

Объект исследования – линия фиолетовозёрной пшеницы hei730/C68// Эритроспермум223 селекции лаборатории генетики и цитологии ФАНЦ Юго-Востока, урожая 2023 г.

Исследования химического состава сырья были проведены в Центре коллективного пользования научным оборудованием в области физико-химической биологии и нанобиотехнологии «Симбиоз» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов Российской академии наук (ИБФРМ РАН, г. Саратов).

Определение содержания железа, магния, цинка и калия проводили по ГОСТ 32343-2013 (ISO 6869:2000) [13].

Для выделения водорастворимых витаминов (В1, В2, В6, В9) 250 мг ($\pm 0,1$ мг) образца помещали в коническую стеклянную колбу с притёртой крышкой на 50 мл. К образцам добавляли 5 мл 0,01 н HCl и выдерживали при 35–37°C в течение 30 мин с периодическим перемешиванием. Образцы центрифугировали 5 мин при 10000 об/мин. Отбирали 1 мл супернатанта и проводили дальнейший анализ методом ВЭЖХ [14].



Для выделения жирорастворимого витамина Е использовали методику, предложенную в ГОСТ 32043-2012. Для этого 250 мг ($\pm 0,1$ мг) образца помещали в коническую стеклянную колбу с притёртой крышкой на 50 мл. К образцам добавляли 5 мл смеси вода:изопропиловый спирт в соотношении 3:97 и выдерживали при 70°C в течение 30 мин с периодическим перемешиванием. Образцы центрифугировали 5 мин при 10000 об/мин. Отбирали 1 мл супернатанта и проводили дальнейший анализ методом ВЭЖХ [15].

Анализ проводили методом обращеннофазовой ВЭЖХ на хроматографе Dionex Ultimate 3000 («Thermo Scientific», США) с использованием колонки Luna 5u C18(2) 100A, 5 мкм 4,6 мм \times 150 мм («Phenomenex», США), серийный номер 125617-12. Время анализа 15 мин. Экстракты хроматографировали в условиях изократического элюирования (растворитель А – метанол, квалификации (Ultra) gradient HPLC grade («J.T.Baker», Голландия), растворитель В – ацетонитрил квалификации HPLC grade («Panreac», Испания) в соотношении 80:20. Скорость протока 1 мл/мин. Объем вводимого образца 20 мкл. Управление хроматографом и анализ данных выполнялся программой Chromeleon версии 7.1.2.1478 («Thermo Scientific», «Dionex», США). Детектирование осуществлялось при следующих длинах волн: В1, В9 – 250 нм, В6 – 400 нм, В2 – 495 нм, Е – 265 нм. Количественный расчет содержания витаминов проводили по соотношению площадей пиков стандарта и образца.

Для определения содержания общих фенольных соединений в сырье использовали метод Фолина–Чиокальтеу [16]. Первоначально муку обрабатывали 70% этиловым спиртом и подвергали ультразвуковому воздействию в течение 15 мин для экстракции фенолов. Для отделения нерастворимых частиц смесь подвергали центрифугированию в течение 10 мин при $10.000 \times g$. Выделенные фенольные соединения смешивали с равным объемом реактива Фолина–Чиокальтеу, предварительно разведённым в 10 раз и выдерживали в течение 10 мин. После добавления трехкратного объема 20% раствора кальцинированной соды смесь выдерживали 2 ч при комнатной температуре и измеряли оптическую плотность проб при длине волны 765 нм. В качестве стандартного образца для построения калибровочной кривой применяли галловую кислоту.

Качественный анализ экстрактов проводили методом обращеннофазовой ВЭЖХ на хроматографе Dionex Ultimate 3000 («Thermo Scientific», США) с использованием колонки Nucleodur НТес С18 («Macherey-Nagel», Германия), средний диаметр частиц 5 мкм с порами 100 Å, геометрия 150 \times 3,0 мм. Время анализа 25 мин.

Экстракты хроматографировали в условиях градиентного элюирования (растворитель А – ацетонитрил квалификации HPLC grade («Panreac», Испания), растворитель В – 0,1% раствор фосфорной кислоты (рН 2,5)): состав подвижной фазы изменялся следующим образом: 0–10 мин – 15% А, 85% В; 10–19 мин – 15 \rightarrow 70% А, 85 \rightarrow 30% В; 19–20 мин – 70% А, 30% В; 20–22 мин – 70 \rightarrow 15% А, 30 \rightarrow 85% В; 22–25 мин – 15% А, 85% В. Скорость потока элюента 1 мл/мин. Объем вводимого образца 5 мкл. Детектирование осуществлялось при длинах волн 226, 250, 320, 342, 360 нм, интегрирование – на длине волны 250 нм. Дополнительно для выявления компонентов антоциановой природы хроматограмму интегрировали при 510 и 657 нм. Управление хроматографом и анализ данных выполнялся программой Chromeleon версии 7.1.2.1478 («Thermo Scientific», «Dionex», США) [17].

Антиоксидантная активность тестируемого продукта определялась в соответствии с методом на основе DPPH (diphenyl picrylhydrazil radical) [18] в небольшой модификации. Для анализа использовали 96-луночные плоскодонные полистирольные планшеты. Экстракты для анализа методом DPPH были подготовлены аналогично тому, как была проведена подготовка образцов для анализа методом ВЭЖХ. К 100 μ L исследуемых образцов добавляли по 100 μ L раствора DPPH в метаноле ($C = 2 \times 10^{-4}$ моль/л). Смесь перемешивали, выдерживали в темноте в течение 30 мин при комнатной температуре. Далее измеряли оптическую плотность при 517 нм. Тесты проводили в трех биологических повторностях. Антиоксидантная активность рассчитывалась по формуле:

$$AOA = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%,$$

где A_0 – оптическая плотность DPPH раствора (контроль); A_1 – оптическая плотность исследуемого раствора с DPPH раствором [18].

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета MS Office Excel.



Результаты и их обсуждение

В научно-технической литературе мало информации по содержанию отдельных химических веществ в фиолетовозёрной пшенице, поэтому ниже приведено сравнение получен-

ных результатов со справочными данными по краснозёрной пшенице [3, 19] (табл. 1).

Как видно, из данных табл. 1 содержание железа в фиолетовозёрной пшенице больше на 21,9% по сравнению с краснозёрной пшеницей, при этом количество цинка меньше на 60%.

Таблица 1 / Table 1

Содержание минеральных веществ и витаминов в зерне пшеницы
Content of minerals and vitamins in wheat grain

Показатель / Figure	Значения, характеристики, мг/100 г муки / Values, characteristics, mg/100 g flour	
	Фиолетовозёрная пшеница селекции ФАНЦ Ю-В / Purple-grain wheat bred in Federal Agricultural Research Center of the Southeast	Краснозёрная пшеница [19–21] / Red wheat [19–21]
Суммарное содержание железа / Total iron content	5,0± 0,1*	4,1±0,1
Суммарное содержание магния / Total magnesium content	131,1±10,0	166,0±0,4
Суммарное содержание цинка / Total zinc content	2,0±0,1*	3,3±0,1
Суммарное содержание калия / Total potassium content	338,0±27,0	407,0±2,3
В ₁ (тиамин) (thiamine)	0,32±0,06	0,19
В ₂ (рибофлавин) (riboflavin)	0,11±0,02	0,06
В ₆ (пиридоксин) (pyridoxine)	0,17±0,03	0,09
В ₉ (фолиевая кислота) (folic acid)	0,04±0,01	0,04
Е (ацетат α-токоферола) (α-tocopherol acetate)	0,5±0,05*	1,9±0,3

Примечание. *Различия между экспериментальными и литературными данными достоверны для $p \leq 0,05$.
Note. *Differences between experimental and literary data are significant for $p \leq 0,05$.

P. Shi с соавторами изучали влияние поглощения железа растением на концентрацию антоцианов в ягодах винограда. Они установили, что содержание антоцианов и интенсивность транскрипции генов, участвующих в биосинтезе антоцианов, находились в прямой корреляции с количеством поступающего железа [22].

Биофортификация пшеницы была начата в середине 2000-х гг. международным консорциумом Harvest Plus, который поставил задачу создать сорта с содержанием цинка в зерне в пределах 50 мг на килограмм. Селекционерами ОмГАУ такая задача решена – в зерне сорта яровой мягкой фиолетовозерной пшеницы Элемент 22 содержание цинка более 50 мг на

кг [23]. Ученые Омского АУ утверждают, что одной из важных функций антоцианов является их участие в качестве посредников в процессах поглощения цинка клетками организма. С дефицитом цинка в рационе человека связывают различные патологии: нарушение функций иммунной, нервной и репродуктивной систем, а также ухудшение зрения. При отсутствии в потребляемой пище антоцианов цинк усваивается организмом на 25%, а при включении в рацион пищи, богатой антоцианами, его усвоение возрастает более чем в 2 раза [24].

Согласно нормам физиологических потребностей в пищевых веществах, указанных в методических рекомендациях [25], суточная



потребность организма человека в цинке составляет 12 мг (100%). Содержание цинка в фиолетовозёрной пшенице саратовской селекции составляет 2,0 мг/100 г, следовательно, степень удовлетворения суточной потребности – 16,6%. В соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 [26] содержание каждого пищевого или биологически активного вещества в 100 г, или разовой порции пищевого продукта, должно составлять не менее 15% от уровня рекомендуемого суточного

потребления. Таким образом, по содержанию цинка исследуемое в ходе работы сырье можно отнести к функциональным.

Содержание фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту составило $84,6 \pm 5,2$ мг/100 г муки.

Для оценки качественного состава фенольных соединений экстракта его подвергли ВЭЖХ-анализу, который выявил 11 компонентов в составе смеси (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Результаты ВЭЖХ-анализа экстрактов сырья
Results of HPLC analysis of raw material extracts

Компонент / Component	Время удерживания, мин / Retention time, min	Относительная площадь пика, mAU/min / Relative peak area, mAU/min	Максимумы поглощения (в диапазоне 200–700 нм), нм / Absorption maxima (in the range of 200–700 nm), nm
1	2,685	0,14	234, 242, 268
2	3,247	6,71	258, 372, 388
3	3,958	7,07	268
4	4,388	9,83	217, 280, 368, 454, 530
5	4,827	5,65	213, 268, 301, 522, 610
6	20,16	9,92	279, 323, 369
7	20,657	20,27	277, 324
8	20,963	14,59	278
9	21,332	11,42	279, 323
10	21,778	4,39	281, 325
11	22,757	10,01	286, 322, 326

Экстракция этанолом обеспечивает эффективное выделение фенольных соединений различной полярности, причём ключевую роль играет концентрация спирта в экстрагенте. Согласно литературным данным [27], водно-спиртовые смеси с содержанием этанола 50–60% предпочтительны для извлечения гидрофильных соединений, тогда как повышение концентрации спирта способствует более полной экстракции гидрофобных компонентов.

В рамках текущего исследования в качестве экстрагента была выбрана смесь, содержащая 70% этилового спирта и 1% хлористоводородной кислоты. Такой состав позволяет извлекать как полярные, так и неполярные соединения; при этом подкисление соляной кислотой способствует облегчению экстракции антоцианов [28].

В ходе анализа было обнаружено, что в составе экстракта присутствуют две группы компонентов – гидрофильные, удерживаемые при 2,5–5,0 мин, и гидрофобные в диапазоне времени удерживания 19,0–24,0 мин (см. табл. 2). Основываясь на показателях площадей пиков, следует отметить преобладание в экстракте гидрофобных компонентов. Полученные результаты хорошо соотносятся с данными литературы о том, что высокая концентрация спирта в экстрагирующей смеси обеспечивает более полную экстракцию малополярных соединений [27]. Компонент 4 с временем удерживания 4,388 мин проявляет слабоинтенсивное поглощение с максимумами 454 и 530 нм, а компонент 5 с временем удерживания 4,827 мин поглощает в длинноволновой области с максимумами 522 и 610 нм (см. табл. 2). Погло-



щение в этом диапазоне длин волн характерно для окрашенных соединений. В частности, поглощение в диапазоне 530–545 нм типично для такого представителя группы антоцианов, как цианидин-3-О-глюкозид, который является стандартом для спектрофотометрического определения антоцианов в экстракте [29]. Это позволяет предположить, что вещества (компонент 4 и компонент 5) относятся к группе антоцианов [30]. А, исходя из времени их удерживания, при используемых условиях элюирования, можно также заключить, что компонент 4 является гликозидной, а компонент 5 – агликоновой формой антоцианов.

Улавливание свободных радикалов является одним из механизмов действия антиоксидантов, ингибирующего окисление липидов. Модель удаления стабильных свободных радикалов 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (DPPH) может быть использована для экспресс-оценки антиоксидантной активности. Антирадикальную активность экстрактов рассчитывали, оценивая связывание DPPH с антиоксидантами, содержащимися в экстрактах. В качестве положительного контроля использовались аскорбиновая кислота, а также хорошо изученные флавоноиды – нарингенин, рутин и кверцетин в концентрациях 0,006–60,0 мг/мл. Для исследуемых образцов был рассчитан параметр полуэффективной концентрации (IC_{50}). Значения IC_{50} были определены с использованием линейной интерполяции между точками, наиболее приближенными к 50% антиоксидантной активности. Для экстрактов пшеницы IC_{50} составил $19,7 \pm 0,9$ мг/мл, а для аскорбиновой кислоты, рутина, кверцетина и нарингенина – $0,051 \pm 0,003$; $21,23 \pm 6,37$; $2,40 \pm 0,46$ и $50,71 \pm 5,74$ мг/мл соответственно. Исходя из полученных результатов, можно построить следующий ряд активности образцов (по убыванию антиоксидантной активности: аскорбиновая кислота >> кверцетин >> экстракт фенольных соединений из муки пшеничной (hei730/C68//Эритроспермум223) >> рутин >> нарингенин).

Анализ состава ФС фиолетовозёрных сортов выявил присутствие антоцианов, демонстрирующих более высокую АОА по сравнению с остальными фенольными соединениями [31]. Это объясняет наблюдаемое превышение АОА этанольных экстрактов фиолетовозёрной пшеницы над уровнем АОА флавоноида нарингенина.

Результаты исследований ученых из Казанского института биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН продемонстрировали, что засушливые условия приводили к снижению содержания ФС в зерне линии 163, но увеличение в линии 193, что коррелировало со снижением или увеличением АОА. Изученные фиолетовозёрные линии имели разную устойчивость к засухе: линия 193 имеет большую устойчивость к засухе и высоким температурам по сравнению с линией 163 [31]. Аналогичное влияние засухи на содержание ФС в зерне пшеницы было обнаружено и другими исследователями [31–33]. Зона Поволжья – это зона засушливого земледелия. Следовательно, повышение засухоустойчивости выводимых сортов фиолетовозёрной пшеницы с более высоким содержанием ФС и АОА – важная задача селекционеров.

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующий вывод: новая линия фиолетовозёрной пшеницы саратовской селекции расширит ассортимент сырья с функциональными свойствами: степень удовлетворения суточной потребности по цинку в фиолетовозёрной пшенице саратовской селекции составляет 16,6%; метод экспресс-оценки АОА выявил высокий процент связывания DPPH с антиоксидантами, содержащимися в экстрактах; в засушливых условиях Саратовской области содержание общих фенольных соединений составило $84,6 \pm 5,2$ мг/100 г муки, что ниже на 25–50% в сравнении с данными ученых Казанского ФИЦ, следовательно, необходимо повышение засухоустойчивости фиолетовозёрных пшениц; оценка качественного состава фенольных соединений экстракта выявила преобладание в экстракте гидрофобных компонентов.

Список литературы

1. Функциональное питание – общая проблема «здорового образа жизни» населения государств Евразии: научные статьи X Евразийского научного форума : сборник / общ. науч. ред. М. Ю. Спирина, Г. В. Алексеев. СПб. : Университет при МПА ЕврАзЭС, 2019. 189 с.
2. Lachman J., Martinek P., Kotíková Z., Orsák M., Šulc M. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain – A review // Journal of Cereal Science. 2017. Vol. 74. P. 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.007>



3. Полонский В. И., Лоскутов И. Г., Сумина А. В. Селекция на содержание антиоксидантов в зерне как перспективное направление для получения продуктов здорового питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 3. С. 343–352. <https://doi.org/10.18699/VJ18.370>
4. Юдина Р. С., Гордеева Е. И., Шоева О. Ю., Тихонова М. А., Хлесткина Е. К. Антоцианы как компоненты функционального питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25, № 2. С. 178–189. <https://doi.org/10.18699/VJ21.022>
5. Рубец В. С., Ворончихина И. Н., Игонин В. Н., Сидоренко В. С., Ворончихин В. В. Характеристика фиолетовозерных сортов яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 65, № 5 (389). С. 525–529. https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_5_525
6. Василова Н. З., Асхадуллин Д. Ф., Асхадуллин Дан. Ф., Багавиева Э. З., Тазутдинова М. Р., Хусаинова И. И. Фиолетовозерный сорт яровой мягкой пшеницы Надира // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. Т. 4, № 40. С. 66–75. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-4-66-75>
7. Ворончихина И. Н., Сидоренко В. С., Рубец В. С., Пыльнев В. В., Игонин В. Н., Ворончихин В. В., Груздев И. В. Оценка качества зерна сортов яровой пшеницы с фиолетовой окраской зерна в условиях ЦРНЗ // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2022. Т. 6. С. 54–66. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-54-66>
8. Фотев Ю. В., Пивоваров В. Ф., Артемьева А. М., Куликов И. М., Гончарова Ю. К., Сысо А. И., Гончаров Н. П. Концепция создания Российской национальной системы функциональных продуктов питания // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22, № 7. С. 776–783.
9. Cerletti C., De Curtis A., Bracone F., Digesù C., Morganti A. G., Iacoviello L., de Gaetano G., Donati M. B. Dietary anthocyanins and health: Data from Flora and Athena EU projects // Br. J. Clin. Pharmacol. 2016. Vol. 83, № 1. P. 103–106. <https://doi.org/10.1111/bcp.12943>
10. Пшеница стекловидная. Краснозерная озимая. Химический состав, пищевая ценность. URL: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/19971.php (дата обращения: 12.04.2024).
11. Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? // Nutr. Res. Rev. 2010. Vol. 23, № 1. P. 65–134. <https://doi.org/10.1017/S0954422410000041>
12. Румянцева Н. И., Валиева А. И., Акулов А. Н., Асхадуллин Дан. Ф., Асхадуллин Дам. Ф., Василова Н. З. Влияние засухи и высоких температур на урожайность и качество зерна фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы // Biomcs. 2021. Т. 13, № 3. С. 254–273. <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2021-17>
13. ГОСТ 32343-2013 Корма, комбикорма. Определение содержания кальция, меди, железа, магния, марганца, калия, натрия и цинка методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ISO 6869:2000) МКС 65.120 (дата введения 2015-07-01). М. : Стандартинформ, 2020. 15 с.
14. Руденко А. О., Карцова Л. А. Определение водорастворимых витаминов группы В и витамина С в комбикормах, премиксах и биологически активных добавках методом обращенно-фазовой ВЭЖХ // Журнал аналитической химии. 2010. Т. 65, № 1. С. 73–78.
15. ГОСТ 32043-2012 Премиксы. Методы определения витаминов А, D, Е (дата введения 01.07.2014). М. : Стандартинформ, 2020. 14 с.
16. Kupina S., Fields C., Roman M. C., Brunelle S. L. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: Single-laboratory validation, first action // J. AOAC Int. 2018. Vol. 101. P. 1466–1472.
17. Каневский М. В., Гринев В. С., Полуконова Н. В., Наволокин Н. А., Беяченко Ю. А., Бучарская А. Б., Дурнова Н. А., Маслякова Г. Н., Широков А. А. Сравнительный анализ содержания фенольных соединений в составе экстрактов антоциановой кукурузы сорта «Пурпурная Саратовская», выращенной при различных условиях увлажнения, методами спектроскопии и ВЭЖХ // Химико-фармацевтический журнал. 2020. Т. 54, № 3. С. 32–36. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2020-54-3-32-36>
18. Jiang H. C., Chi-Tang H. J. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds // Agric. Food Chem. 1997. Vol. 45. P. 2374–2378.
19. El Houssni I., Zahidi A., Khedid K., Hassikou R. Nutrient and anti-nutrient composition of durum, soft and red wheat landraces: Implications for nutrition and mineral bioavailability // Journal of Agriculture and Food Research. 2024. Vol. 15. Art. 101078. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101078>
20. Granda L., Rosero A., Benešová K., Pluháčková H., Neuwirthová J., Cerkal R. Content of selected vitamins and antioxidants in colored and nonpigmented varieties of quinoa, barley, and wheat grains // Journal of Food Science. 2018 Vol. 83, № 10. P. 2439–2447. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14334>
21. Tian P., Liu Y., Cheng Y., Yang B., Wang Y., Wu B. Exploration of folate and its derivatives in grains of wheat with different colors // Frontiers in Genetics. 2025. Vol. 16. Art. 1549122. <https://doi.org/10.3389/fgene.2025.1549122>
22. Shi P., Li B., Chen H., Song C., Meng J., Xi Z., Zhang Z. Iron supply affects anthocyanin content and related gene expression in berries of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon // Molecules. 2017. Vol. 22, № 2. Art. 283. <https://doi.org/10.3390/molecules22020283>



23. Михайлова О. П. Омская пшеница как продукт функциональной направленности // Молодой ученый. 2023. Т. 5, № 452. С. 223–225.
24. Коренькин Д. Ю., Абилов Ж. А., Музычкина Р. А., Толстиков Г. А. Природные флавоноиды. Новосибирск : ГЕО, 2007. 229 с.
25. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации: Методические рекомендации. М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 72 с.
26. ГОСТ Р 55577-2013 Продукты пищевые специализированные и функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности (дата введения 06.09.2013). М. : Стандартинформ, 2014. 15 с.
27. Адамцевич Н. Ю., Болтовский В. С., Туток В. В. Влияние параметров экстракции на выход флавоноидов из листьев воробейника лекарственного (*Lithospermum officinale* L.) // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. 2020. Т. 65, №. 4. С. 402–411. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-402-411>
28. Капитова И. А., Павлов К. В. Методы извлечения антоцианов из растительного сырья и способы очистки (обзор) // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 2. С. 245–253. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-245-253>
29. Куркин В. А., Рязанова Т. К. Определение антоцианов в плодах черники обыкновенной // Фармация. 2012. № 2. С. 10–13.
30. Liu H. L., Jiang W. B., Xie M. X. Flavonoids: Recent advances as anticancer drugs // Recent Pat. Anticancer Drug. Discov. 2010. Vol. 5, № 2. P. 152–164. <https://doi.org/10.2174/157489210790936261>
31. Акулов А. Н., Валиева А. И., Василова Н. З., Асхадуллин Д. Ф., Асхадуллин Дам. Ф., Румянцева Н. И. Влияние погодных условий на содержание и состав фенольных соединений в зерне фиолетовозерных линий яровой мягкой пшеницы // Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды : сб. материалов Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Иркутск, 10–15 июля 2018) : в 2 ч. Ч. 1. Иркутск : СИФИБР СО РАН, 2018. С. 55–60. <https://doi.org/10.31255/978-5-94797-319-8-55-60>
32. Heimler D., Vignolini P., Isolani L., Arfaioli P., Ghiselli L., Romani A. Polyphenol content of modern and old varieties of *Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf. grains in two years of production // J. Agric. Food Chem. 2010. Vol. 58, № 12. P. 7329–7334. <https://doi.org/10.1021/jf1010534>
33. Fernandez-Orozco R., Li L., Harflett C., Shewry P. R., Ward J. L. Effects of environment and genotype on phenolic acids in wheat in the HEALTHGRAIN diversity screen // J. Agric. Food Chem. 2010. Vol. 58, № 17. P. 9341–9352. <https://doi.org/10.1021/jf102017s>

Reference

1. Spirina M. Yu., Alekseev G. V., total sci. eds. *Functional nutrition – a common problem of the “healthy lifestyle” of the population of the Eurasian states: Scientific articles of the 10th Eurasian Scientific Forum: Collection*. St. Petersburg, University under the IPA EurAsEC Publ., 2019. 189 p. (in Russian).
2. Lachman J., Martinek P., Kotíková Z., Orsák M., Šulc M. Genetics and chemistry of pigments in wheat grain – A review. *Journal of Cereal Science*, 2017, vol. 74, pp. 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.007>
3. Polonsky V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Breeding for antioxidant content in grain as a promising direction for obtaining healthy food products. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol. 22, no. 3, pp. 343–352 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ18.370>
4. Yudina R. S., Gordeeva E. I., Shoeva O. Yu., Tikhonova M. A., Khlestkina E. K. Anthocyanins as components of functional nutrition. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2021, vol. 25, no. 2, pp. 178–189 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/VJ21.022>
5. Rubets V. S., Voronchikhina I. N., Igonin V. N., Sidorenko V. S., Voronchikhin V. V. Characteristics of violet-grain varieties of spring soft wheat in the conditions of the Central region of the Non-Chernozem zone of Russia. *International Agricultural Journal*, 2022, vol. 5, pp. 525–529 (in Russian). https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_5_525
6. Vasilova N. Z., Askhadullin D. F., Askhadullin Dan. F., Bagavieva E. Z., Tazutdinova M. R., Khusainova I. I. Violet-grain variety of spring soft wheat Nadir. *Grain Legumes and Cereal Crops*, 2021, vol. 4, no. 40, pp. 66–75 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-4-66-75>
7. Voronchikhina I. N., Sidorenko V. S., Rubets V. S., Pylnev V. V., Igonin V. N., Voronchikhin V. V., Gruzdev I. V. Grain quality assessment of spring wheat varieties with purple grain color under the conditions of the Central Russian Scientific Research Plant. *Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy*, 2022, vol. 6, pp. 54–66 (in Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-54-66>
8. Fotev Yu. V., Pivovarov V. F., Artemyeva A. M., Kulikov I. M., Goncharova Yu. K., Syso A. I., Goncharov N. P. Concept of creating a Russian national system of functional food products. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2018, vol. 22, no. 7, pp. 776–783 (in Russian).
9. Cerletti C., De Curtis A., Bracone F., Digesù C., Morganti A. G., Iacoviello L., de Gaetano G., Donati M. B. Dietary anthocyanins and health: Data from Flora and Athena EU projects. *Br. J. Clin. Pharmacol.*, 2016, vol. 83, no. 1, pp. 103–106. <https://doi.org/10.1111/bcp.12943>



10. Glassy wheat. Red-grained winter. *Chemical composition, nutritional value* (in Russian). Available at: https://health-diet.ru/base_of_food/sostav/19971.php (accessed April 12, 2024).
11. Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: What is beyond fibre? *Nutr. Res. Rev.*, 2010, vol. 23, no. 1, pp. 65–134. <https://doi.org/10.1017/S0954422410000041>
12. Rumyantseva N. I., Valieva A. I., Akulov A. N., Askhadullin Dan. F., Askhadullin Dam. F., Vasilova N. Z. The influence of drought and high temperatures on the yield and grain quality of violet-grain lines of spring soft wheat. *Biomics*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 254–273 (in Russian). <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2021-17>
13. GOST 32343-2013 *Feed, compound feed. Determination of calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc by atomic absorption spectrometry* (ISO 6869:2000) ISS 65.120 (date of introduction 2015-07-01). Moscow, Standartinform, 2020. 15 p. (in Russian).
14. Rudenko A. O., Kartsova L. A. Determination of water-soluble B vitamins and vitamin C in compound feeds, premixes and biologically active additives by reversed-phase HPLC. *Journal of Analytical Chemistry*, 2010, vol. 65, no. 1, pp. 73–78 (in Russian).
15. GOST 32043-2012 *Premixes. Methods for determination of vitamins A, D, E* (date of introduction 01.07.2014). Moscow, Standartinform, 2020. 14 p. (in Russian).
16. Kupina S., Fields C., Roman M. C., Brunelle S. L. Determination of total phenolic content using the Folin-C assay: Single-laboratory validation, first action. *J. AOAC Int.*, 2018, vol. 101, pp. 1466–1472.
17. Kanevsky M. V., Grinev V. S., Polukonova N. V., Navolokin N. A., Belyachenko Yu. A., Bucharskaya A. B., Durnova N. A., Maslyakova G. N., Shirokov A. A. Comparative analysis of the content of phenolic compounds in the composition of anthocyanin extracts of the Purpurnaya Saratovskaya corn variety grown under different moisture conditions using spectroscopy and HPLC methods. *Chemical and Pharmaceutical Journal*, 2020, vol. 54, no. 3, pp. 32–36 (in Russian). <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2020-54-3-32-36>
18. Jiang H. C., Chi-Tang H. J. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *Agric. Food Chem.*, 1997, vol. 45, pp. 2374–2378.
19. El Houssni I., Zahidi A., Khedid K., Hassikou R. Nutrient and anti-nutrient composition of durum, soft and red wheat landraces: Implications for nutrition and mineral bioavailability. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2024, vol. 15, art. 101078. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101078>
20. Granda L., Rosero A., Benešová K., Pluháčková H., Neuwirthová J., Cerkal R. Content of selected vitamins and antioxidants in colored and nonpigmented varieties of quinoa, barley, and wheat grains. *Journal of Food Science*, 2018, vol. 83, no. 10, pp. 2439–2447. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14334>
21. Tian P., Liu Y., Cheng Y., Yang B., Wang Y., Wu B. Exploration of folate and its derivatives in grains of wheat with different colors. *Frontiers in Genetics*, 2025, vol. 16, art. 1549122. <https://doi.org/10.3389/fgene.2025.1549122>
22. Shi P., Li B., Chen H., Song C., Meng J., Xi Z., Zhang Z. Iron supply affects anthocyanin content and related gene expression in berries of *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon. *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 2, art. 283. <https://doi.org/10.3390/molecules22020283>
23. Mikhailova O. P. Omsk wheat as a product of functional orientation. *Young Scientist*, 2023, vol. 5, no. 452, pp. 223–225 (in Russian).
24. Korulkin D. Yu., Abilov Zh. A., Muzychkina R. A., Tolstikov G. A. *Prirodnye flavonoidy* [Natural flavonoids]. Novosibirsk, GEO, 2007. 229 p. (in Russian)
25. *Standards of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation: Methodological recommendations*. Moscow, Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing Publ., 2021. 72 p. (in Russian)
26. GOST R 55577-2013 *Specialized and functional food products. Information on distinctive features and efficiency* (date of introduction 06.09.2013). Moscow, Standartinform, 2014. 15 p. (in Russian).
27. Adamcevich N. Yu., Boltovskij V. S., Titok V. V. The influence of extraction parameters on the output of flavonoids from littlewale (*Lithospermum officinale* L.). *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*, 2020, vol. 65, no. 4, pp. 402–411 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2020-65-4-402-411>
28. Kapitova I. A., Pavlov K. V. Methods of extracting anthocyanins from plant material and purification techniques (review). *Agrarian Bulletin of the Urals*, 2025, vol. 25, no. 2, pp. 245–253 (in Russian). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-245-253>
29. Kurkin V. A., Ryazanova T. K. Determination of anthocyanins in blueberries. *Pharmacy*, 2012, no. 2, pp. 10–13 (in Russian)
30. Liu H. L., Jiang W. B., Xie M. X. Flavonoids: Recent advances as anticancer drugs. *Recent Pat. Anticancer Drug. Discov.*, 2010, vol. 5, no. 2, pp. 152–164. <https://doi.org/10.2174/157489210790936261>
31. Akulov A. N., Valieva A. I., Vasilova N. Z., Askhadullin D. F., Askhadullin Dam. F., Rumyantseva N. I. Influence of weather conditions on the content and composition of phenolic compounds in the grain of purple-grain lines of spring soft wheat. In: *Mekhanizmy ustojchivosti rastenij i mikroorganizmov k neblagopriyatnym usloviyam sredy: sb. materialov Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem* (Irkutsk, 10–15 iyulya



- 2018): v 2 ch. Ch. 1 [Mechanisms of Resistance of Plants and Microorganisms to Unfavorable Environment: Coll. of materials of the All-Russ. sci. conf. with Intern. participation (Irkutsk, July 10–15, 2018): in 2 parts. Part 1]. Irkutsk, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry RAS Publ., 2018, pp. 55–60 (in Russian). <https://doi.org/10.31255/978-5-94797-319-8-55-60>
32. Heimler D., Vignolini P., Isolani L., Arfaioli P., Ghiselli L., Romani A. Polyphenol content of modern and old varieties of *Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf. grains in two years of production. *J. Agric. Food Chem.*, 2010, vol. 58, no. 12, pp. 7329–7334. <https://doi.org/10.1021/jf1010534>
33. Fernandez-Orozco R., Li L., Harflett C., Shewry P. R., Ward J. L. Effects of environment and genotype on phenolic acids in wheat in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.*, 2010, vol. 58, no. 17, pp. 9341–9352. <https://doi.org/10.1021/jf102017s>

Поступила в редакцию 09.01.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 26.12.2025
The article was submitted 09.01.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 26.12.2025