

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ БЕЛКОВ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЯ

Е. Н. Шаболкина, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории технолого-аналитического сервиса, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
С. Н. Шевченко, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, директор СамНЦ РАН, shevchenko_sn@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;
Д. О. Долженко, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель лаборатории селекции и генетики мягкой пшеницы, ddolzenko75@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2004-329X;
И. А. Калякулина, научный сотрудник лаборатории серых хлебов, irinka99rassom@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-6561-550X;
Н. В. Анисимкина, старший научный сотрудник лаборатории технолого-аналитического сервиса, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, 446254, Самарская обл., п. Безенчук, ул. Карла Маркса, д. 41; Тел.: 8 (84676) 2-11-40; e-mail: samniish@mail.ru

Зерно голозерного ячменя с высоким содержанием белка и полноценным составом аминокислот используется в качестве ингредиента при производстве продуктов питания и кормов с повышенной питательной и потребительской ценностью. Необходим поиск исходного материала голозерного ячменя с высоким содержанием незаменимых, лимитирующих и заменимых аминокислот в целях создания высокотехнологичных сортов для пищевой и кормовой продукции. Цель исследований – установить аминокислотный состав белков голозерных сортообразцов ярового ячменя коллекции ВИР, выделить источники с высоким содержанием белка и улучшенным аминокислотным составом для включения в селекционные программы по созданию высококачественных сортов голозерного ячменя различного направления использования. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в Самарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – СамНЦ РАН. В качестве экспериментального материала использовали сортообразцы ярового голозерного ячменя коллекции ВИР. Аминокислотный состав белков определяли методом капиллярного электрофореза («КАПЕЛЬ-105М»). При изучении коллекции ВИР ярового голозерного ячменя за 2023–2024 гг. выделилась группа сортообразцов с повышенным содержанием белка независимо от метеорологических условий произрастания (19,0–19,9 % в среднем за годы исследований), которую необходимо включать в гибридизацию для создания высокотехнологичных сортов отражающих их сырьевые достоинства и направления использования: к-5411, к-20041, к-25872, к-31125, к-21694, к-23450, к-11069, к-3115. Из коллекционного и селекционного материала голозерного ячменя, выращенного в засушливых условиях степной зоны Среднего Поволжья, выделены источники с высоким содержанием незаменимых (4,30–4,80 %) и лимитирующих (0,85–0,94 %) аминокислот, а также общим содержанием аминокислот (13,88–14,69 %), которые рекомендованы для включения в селекционные программы по созданию высококачественных сортов голозерного ячменя для пищевой и кормовой промышленности: к-4526, к-5058, к-5411, к-6246, к-8923, к-25872, к-31520, к-21694, Нудум 15, Стрелецкий голозерный, Целесте 17.

Ключевые слова: голозерный ячмень, сорта, линии, белок, аминокислотный состав, незаменимые и заменимые аминокислоты.

Для цитирования: Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Долженко Д. О., Калякулина И. А., Анисимкина Н. В. Аминокислотный состав белков голозерного ячменя // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 2. С. 13–19. DOI: 10.31367/2079-8725-2025-97-2-13-19.



AMINO ACID COMPOSITION OF PROTEIN IN HULLES BARLEY

E. N. Shabolkina, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for technical and analytical service, elenashabolkina@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-1090-4399;
S. N. Shevchenko, Doctor of Agricultural Sciences, professor, academician of RAS, head of the SamRC RAS, shevchenko_sn@list.ru, ORCID ID: 0000-0002-7605-9864;
D. O. Dolzhenko, Candidate of Agricultural Sciences, head of the laboratory for common wheat breeding and genetics, ddolzenko75@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0002-2004-329X;
I. A. Kalyakulina, researcher of the laboratory for gray bread; irinka99rassom@gmail.com, ORCID ID: 0009-0006-6561-550X;
N. V. Anisimkina, senior researcher of the laboratory for technical and analytical service, anisimkina.natalya@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5129-7797
Samara Research Institute of Agriculture named after N. M. Tulaikov – branch of the Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences 446254, Samara region, v. of Bezenchuk, Karl Marks Str., 41; e-mail: samniish@mail.ru

Hulles barley grain with a high protein percentage and a complete amino acid composition is used as an ingredient in the production of food and feed with increased nutritional and consumer value. It is necessary to search for the initial material of hulles barley with a high content of essential, limiting and replaceable amino acids in order to develop high-tech varieties for food and feed products. The purpose of the current study was to determine the amino acid composition of protein in spring hulles barley varieties from the VIR collection, to identify sources with a high protein content and improved amino acid composition for use in breeding programs for the development of high-

qualitative hulles barley varieties for various applications. The study was conducted at the Samara Research Institute of Agriculture of RAS in 2023–2024. Spring hulles barley varieties from the VIR collection were used as experimental material. The amino acid composition of protein was determined by capillary electrophoresis (KAPEL-105M). When studying the VIR collection of spring hulles barley in 2023–2024, there was identified a group of variety samples with an increased protein percentage, regardless of weather conditions (19.0–19.9 % on average over the years of study), which should be included in hybridization to develop high-tech varieties 'k-5411', 'k-20041', 'k-25872', 'k-31125', 'k-21694', 'k-23450', 'k-11069', 'k-3115' demonstrating their raw material advantages and areas of use. From the collection and breeding material of hulles barley grown in the arid conditions of the steppe part of the Middle Volga region, there have been identified the sources 'k-4526', 'k-5058', 'k-5411', 'k-6246', 'k-8923', 'k-25872', 'k-31520', 'k-21694', 'Nudum 15', 'Streletsky golozerny', 'Tseleste 17' with a high content of essential (4.30–4.80 %) and limiting amino acids (0.85–0.94 %), as well as a total amino acid content (13.88–14.69 %), which are recommended for use in the breeding programs to develop high-quality hulles barley varieties for the food and feed industries.

Keywords: hulles barley, varieties, lines, protein, amino acid composition, essential and replaceable amino acids.

Введение. На российском и мировом рынке спрос на одну из основных зерновых культур – ячмень – очень высок. Это связано с потребностями комбикормовой промышленности, так как ячмень является одним из основных поставщиков энергии для животноводства, и с возрастающей популярностью продуктов из зерна ячменя: ячневая и перловая крупа, хлебобулочные и кондитерские изделия с добавлением в разном соотношении ячменной муки, которые относятся к категории здорового (функционального) питания. В настоящее время востребованы специализированные продукты для диабетиков с содержанием цельнозернового зерна или сеяной муки из зерна ячменя, которые характеризуются наличием растворимых и нерастворимых пищевых волокон, полноценного белка со сбалансированным аминокислотным составом, превосходящим по наличию лимитирующих аминокислот другие злаки (Анисков и др., 2015; Полонский и др., 2018; Сумина и Полонский, 2020).

Увеличение производства функциональных продуктов и кормов с улучшенным аминокислотным составом является основной целью пищевой и комбикормовой промышленности, и ячмень голозерный прочно занял сектор в данных областях переработки. Возрастающее внимание к голозерному ячменю связано с более высоким содержанием белковых веществ в зерне и более ценным аминокислотным составом белка по сравнению с пленчатыми сортами (Левакова и Ерошенко, 2019; Лукина и др., 2022). Общая сумма аминокислот в белке голозерного ячменя по сравнению с пленчатыми формами выше более чем на 50,0 %, содержание лизина, аргинина и гистидина больше на 20–28 %. По массовой доле лейцина и изолейцина голозерный ячмень превосходит пленчатый на 42,0 % (Железнов и др., 2013; Цандекова и Неверова, 2017). Зерно голозерного ячменя с высоким содержанием незаменимых и заменимых аминокислот используется в качестве ингредиента при производстве продуктов питания и кормов с повышенной питательной и потребительской ценностью. Наряду с отмеченными достоинствами голозерные формы ячменя характеризуются нестабильной урожайностью, низкой засухоустойчивостью и посевными свойствами (Филиппов и Дорошенко, 2015; Шевченко и др., 2021; Шаболкина и др., 2023). Научные исследования

в настоящее время направлены на создание высококачественных сортов голозерного ячменя, адаптированных к конкретным условиям произрастания.

Отмечено, что качественные показатели зерна голозерного ячменя, отвечающие за питательную ценность – белковость, содержание аминокислот и сбалансированность аминокислотного состава, – определяются генетическими факторами, эколого-географическими условиями произрастания (Железнов и др., 2013; Лукина и др., 2022), и изучение процессов влияния данных факторов на питательность зерна актуально и очень перспективно. Селекционная работа и улучшение технологий возделывания, направленные на повышение биологической ценности белков за счет увеличения содержания незаменимых и лимитирующих аминокислот, имеют большое практическое значение. Поэтому необходим поиск доноров голозерного ячменя с высоким содержанием белка и полноценным составом аминокислот в целях создания высокотехнологичных сортов для пищевой и кормовой продукции.

Цель исследований – установить аминокислотный состав белков сортообразцов ярового голозерного ячменя коллекции ВИР, выделить источники с высоким содержанием белка и улучшенным аминокислотным составом для включения в селекционные программы по созданию высококачественных сортов голозерного ячменя различного направления использования.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в Самарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – СамНЦ РАН (Самарская обл.). В качестве экспериментального материала использовали сортообразцы ярового ячменя коллекции ВИР. Опыты закладывались на полях селекционного севооборота. Предшественник – горох, учетная площадь делянок 2 м² в двукратной повторности при систематическом размещении, агротехника общепринятая для зоны.

Содержание белкового азота определяли по ГОСТ 10846-91 (метод Кьельдаля), аминокислотный состав белков – методом капиллярного электрофореза по ГОСТ 55569-2013, основанного на кислотном и щелочном (только для триптофана) гидролизе, переводе аминокислот в свободные формы с дальнейшим их

разделением и количественном определении с помощью системы капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М». Статистическая обработка экспериментальных данных проведена по Б.А. Доспехову (2014).

Погодные условия в 2023 г. были удовлетворительными для роста и развития ярового голозерного ячменя: в начале вегетации за третью декаду апреля сумма осадков составила 7,9 мм при норме 10,0 мм, средняя температура воздуха 14,4°C, что на 3,8°C выше многолетних значений. В конце вегетации (третья декада июля) сумма осадков составила 12,8 мм, что соответствует 85 % от нормы, температурный режим колебался, но незначительно, и был в пределах среднемноголетних значений (температура воздуха была выше многолетних значений на 0,7 °C и составила 22,8 °C). Вегетационный период в 2024 г. был неудовлетворителен для роста и развития ярового ячменя: неустойчивый температурный режим (максимальное отклонение средней температуры воздуха от многолетних значений составило от 7,2 °C (третья декада июня) до –5,4 °C (первая декада мая)) и неравномерное выпадение осадков (колебания по декадам составило от 0,2 до 36,0 мм).

Результаты и их обсуждение. Количественные и качественные характеристики белков ячменя определяют пригодность зерна к конкретным областям переработки. Изменчивость массовой доли белка в зерне голозерного ячменя высокая, что свидетельствует о значительных возможностях данной культуры (Цандекова и Неверова, 2017; Шаболкина и др., 2023). Содержание белка в зерне ярового голозерного ячменя при изучении коллекции ВИР в 2023 г. варьировало в широких пределах – от 14,3 до 18,8 % в зависимости от сорта и внешних факторов. Выделилась группа сортов (табл. 1) с повышенным содержанием белка: к-5411 (17,7 %), к-20028 (17,7 %), к-20041 (17,7 %), к-25872 (18,8 %), к-28205 (17,7 %), к-31125 (18,8 %), к-21694 (18,2 %), к-23450 (17,7 %).

Максимальное содержание белка (18,8 %) сформировали две линии: к-25872 и к-31125.

Условия 2024 г. в целом были неудовлетворительны для роста и развития ярового ячменя: воздушная засуха и дефицит почвенной влаги в период налива и созревания зерна не способствовали формированию высокой продуктивности голозерного ячменя, но содействовали наибольшему формированию белковых веществ в зерне 21,1–21,3 %. Содержание белка в зерне голозерного ячменя в зависимости от сорта колебалось от 17,1 до 21,3 %. Отмечены следующие линии и сорта с повышенной белковостью: к-4526 (20,9 %), к-5411 (20,9 %), к-6194 (20,9 %), к-8923 (21,1 %), к-11069 (21,3 %), к-14912 (21,3 %), к-25872 (20,9 %), к-31125 (20,6 %), к-20921 (21,1 %).

В среднем за 2023–2024 гг. выделилась группа сортов с повышенным содержанием белка независимо от метеорологических условий вегетационного периода: к-5411 (19,3 %), к-20041

(19,1 %), к-25872 (19,9 %), к-31125 (19,7 %), к-21694 (19,2 %), к-23450 (19,0 %). Также заслуживают внимание две линии: к-11069 и к-14912, которые в 2024 г. сформировали максимальное количество белка в зерне – 21,3 %, в среднем за два года исследований содержание белка у данных сортов составило 19,0 %.

Питательная и биологическая ценность ячменя зависит как от общего количества белка в зерне, так и от содержания аминокислот и сбалансированности аминокислотного состава, которые определяются генетическими факторами и влиянием эколого-географических условий (Цандекова и Неверова, 2017; Лукина и др., 2022). Результаты проведенных исследований показали (табл. 2), что в коллекции ярового голозерного ячменя различного географического происхождения имеются образцы с повышенным и пониженным содержанием аминокислот.

По общему содержанию аминокислот в зерне в представленной коллекции наиболее высокие показатели (13,88–14,69 %) отмечены у следующих 11 сортов и линий: к-4526 (13,88 %), к-5058 (14,18 %), к-5411 (14,35 %), к-6246 (13,90 %), к-8923 (13,95 %), к-25872 (14,42 %), к-31520 (14,17 %), к-21694 (13,90 %), Нудум 15 (14,46 %), Стрелецкий голозерный (14,69 %), Целесте 17 (14,00 %).

Особо стоит отметить селекционные сорта, созданные в сотрудничестве ФНЦ ЗБК и Самарского НИИСХ-филиала СамНЦ РАН: Нудум 15, Целесте 17 и Стрелецкий голозерный. Сорт Стрелецкий голозерный включен в Госреестр селекционных достижений Российской Федерации по Центрально-Черноземному и Средневолжскому регионам с 2025 года.

Однако за питательную ценность белков (полноценные) отвечают незаменимые аминокислоты. Наличие достаточного количества незаменимых аминокислот в пищевой и кормовой продукции значительно повышает ее качество. По сумме незаменимых аминокислот (валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин), которые не синтезируются в организме человека и животных, однако крайне необходимы для их нормальной жизнедеятельности, выделились 10 сортов и линий: к-5058 (4,30 %), к-5411 (4,71 %), к-6246 (4,45 %), к-8923 (4,63 %), к-25872 (4,34 %), к-31520 (4,71 %), к-21694 (4,41 %), Нудум 15 (4,59 %), Стрелецкий голозерный (4,80 %), Целесте 17 (4,30 %).

Наибольшая сумма трех дефицитных, или лимитирующих, незаменимых аминокислот – лизина, метеонина и триптофана (продукты растительного происхождения наиболее бедны ими) отмечена у 8 сортов и линий ячменя: к-5411 (0,90 %), к-6246 (0,86 %), к-8923 (0,87 %), к-25872 (0,88 %), к-31520 (0,92 %), к-21694 (0,85 %), Нудум 15 (0,90 %), Стрелецкий голозерный (0,94 %). Максимальные значения суммы лимитирующих незаменимых аминокислот отмечены у сортообразцов Стрелецкий голозерный (0,94 %), к-31520 (0,92 %), Нудум 15 (0,90 %) и к-5411 (0,90 %).

Таблица 1. Содержание белка в зерне ярового голозерного ячменя (коллекция ВИР), 2023–2024 годы
Table 1. Protein percentage in spring hulles barley grain (VIR collection), 2023–2024

№ каталога ВИР	Название, происхождение	Белок, %			№ каталога ВИР	Название, происхождение	Белок, %		
		2023 г.	2024 г.	ср.			2023 г.	2024 г.	ср.
к-514	Местный, Херсонская обл. Украина	16,5	20,1	18,3	к-29440	№ 16, Беларусь	15,2	20,5	17,9
к-3115	Местный, Таджикистан	16,4	20,9	18,7	к-30299	Grappenhose Zeizellige, Польша	16,5	18,9	17,7
к-4526	Местный, Ивановская обл.	16,6	20,9	18,8	к-31049	Beag, США	14,3	17,6	16,0
к-5058	Местный, Туркменистан, Балканский р-н	16,5	20,5	18,5	к-31106	CDC Gainer, Канада	14,5	17,1	15,8
к-5411	Белый голозерный, Болгария	17,7	20,9	19,3	к-31125	Нудум 95, Челябинская обл.	18,8	20,6	19,7
к-6194	Местный, Грузия, Ахалкалаки	16,5	20,9	18,7	к-31143	Irbe (PR-3528), Латвия	16,0	17,8	16,9
к-6246	Местный, Грузия, Ахалкалаки	16,7	19,6	18,2	к-31178	Lawina, Германия	16,6	20,2	18,4
к-8923	Без названия, Португалия, Лиссабон	16,5	21,1	18,8	к-31228	Ахиллес, Украина	16,5	20,3	18,4
к-8952	Без названия, Турция, Бурса	14,3	18,5	16,4	к-31367	Kornelija, Латвия	14,8	18,7	16,8
к-9054	Без названия, Италия, Пьемонт	16,5	20,0	18,3	к-31520	Козацкий, Украина	16,0	19,4	17,7
к-11069	№166, Приморский край	16,6	21,3	19,0	к-31521	Местный, Грузия	14,9	20,1	17,5
к-13272	Без названия, Турция	14,8	17,8	16,3	к-31540	Lotos, Германия	14,8	18,1	16,5
к-13273	Без названия, Турция	16,5	20,5	18,6	к-21694	Голозерный 1, Свердловская обл.	18,2	20,1	19,2
к-14912	Местный, Таджикистан, Гармский р-н	16,7	21,3	19,0	к-20921	Abyssinian 1102=194, Эфиопия	16,5	21,1	18,8
к-16535	Без названия, Ставропольский край	17,1	20,5	18,8	к-29415	Алаг-Эрд-Эне, Монголия	15,5	20,3	17,9
к-16547	Без названия, Северная Осетия	16,5	19,8	18,2	к-31040	Оскар, Красноярский край	15,4	19,1	17,3
к-16827	Без названия, Беларусь, Брестская обл.	15,4	20,1	17,8	к-31580	Дева, Беларусь	15,4	19,7	17,6
к-17372	Без названия, Польша	16,5	20,1	18,3	к-23450	H.2866 Coll.Halle EP80, Эфиопия	17,7	20,3	19,0
к-20028	Л. АНОР 2537/63, Эфиопия	17,7	18,7	18,2	к-24821	H3048, Эфиопия	16,5	18,5	17,5
к-20040	Л. АНОР 2551/63, Эфиопия	17,1	19,4	18,3	к-25008	Местный, Эфиопия	16,7	18,5	17,6
к-20041	Л. АНОР 4256/63, Эфиопия	17,7	20,5	19,1	к-5448	Абун 8, Эфиопия	17,7	19,6	18,7
к-20079	Линия АНОР 2547/63, Эфиопия	17,1	18,7	17,9	к-30919	Омский голозерный 1, Омская обл., st	16,5	18,0	17,3
к-23491	De printemps, Франция	16,5	18,1	17,3	–	Арчекас, Кемеровская обл.	16,2	18,7	17,5
к-25085	TR02-PR02-CEV, Мексика	16,8	19,8	18,3	–	Мутант Винера, Новосибирская обл.	16,0	19,8	17,9
к-25872	ЕВ 1626, Индия	18,8	20,9	19,9	–	Линия 1285, Новосибирская обл.	16,5	20,5	18,5
к-25967	CF-113, Франция	16,5	18,7	17,6	–	Линия 1, Новосибирская обл.	15,4	19,1	17,3
к-27345	Гибр. линия, Беларусь	17,1	19,8	18,5	–	Линия BAI JIN, Китай	17,1	19,4	18,3
к-28205	АНОР 3024/76, ГДР до 1991	17,7	18,3	18,0	–	Нудум 15	16,5	17,8	17,2
к-28645	S-274, Мексика	14,8	17,4	16,1	–	Целесте 17	16,0	18,5	17,3
к-28670	S-326, Мексика	15,4	18,4	16,9	–	Стрелецкий голозерный	15,4	17,1	16,3
к-28684	EP 79=L 92, Германия	15,4	19,8	17,6	–	HCP _{0,05}	1,1	2,5	1,6

Таблица 2. Аминокислотный состав зерна ярового голозерного ячменя (коллекция ВИР), 2023–2024 годы
Table 2. Amino acid composition of spring hulles barley grain (VIR collection), 2023–2024

№ каталога ВИР	Незаменимые аминокислоты, %								Заменимые аминокислоты, %										Общая сумма аминокислот, %	
	лизин	гистидин	лейцин + изолейцин	валин	метионин	треонин	триптофан	фенилаланин	всего	аланин	аргинин	аспар. кислота + аспарагин	глицин	глут. кислота + глутамин	пролин	серин	тирозин	цистеин		всего
к-514	0,34	0,26	1,26	0,57	0,27	0,47	0,15	0,52	3,84	0,45	0,90	0,80	0,40	2,80	1,41	0,69	0,34	0,29	8,08	11,92
к-3115	0,35	0,27	1,36	0,62	0,27	0,46	0,12	0,62	4,07	0,44	0,92	0,93	0,42	3,03	1,69	0,67	0,37	0,38	8,85	12,92
к-4526	0,37	0,29	1,42	0,65	0,25	0,45	0,16	0,61	4,20	0,45	0,84	0,81	0,38	4,04	1,77	0,67	0,37	0,35	9,68	13,88
к-5058	0,36	0,28	1,46	0,66	0,28	0,46	0,15	0,65	4,30	0,46	0,94	0,82	0,47	4,00	1,74	0,70	0,38	0,37	9,88	14,18
к-5411	0,42	0,32	1,60	0,63	0,29	0,53	0,19	0,73	4,71	0,51	0,95	0,86	0,44	3,65	1,43	0,79	0,41	0,40	9,64	14,35
к-6246	0,40	0,29	1,48	0,68	0,27	0,47	0,19	0,67	4,45	0,49	0,87	0,86	0,51	3,62	1,61	0,71	0,38	0,40	9,45	13,90
к-8923	0,41	0,24	1,60	0,64	0,28	0,58	0,18	0,70	4,63	0,52	0,70	0,88	0,52	3,43	1,70	0,77	0,42	0,38	9,32	13,95
к-13272	0,30	0,26	1,16	0,60	0,27	0,44	0,15	0,59	3,77	0,43	0,93	0,84	0,39	2,80	1,70	0,66	0,29	0,32	8,36	12,13
к-16535	0,24	0,20	1,02	0,40	0,20	0,38	0,20	0,53	3,17	0,32	0,84	0,92	0,35	3,61	1,69	0,51	0,29	0,35	8,88	12,05
к-16547	0,34	0,28	1,32	0,60	0,22	0,40	0,21	0,58	3,95	0,42	0,63	0,91	0,40	3,68	1,37	0,50	0,37	0,40	8,68	12,63
к-16827	0,28	0,28	1,10	0,42	0,17	0,31	0,19	0,54	3,29	0,32	0,70	0,93	0,37	3,62	1,69	0,49	0,31	0,40	8,83	12,12
к-17372	0,30	0,24	1,10	0,49	0,23	0,38	0,18	0,55	3,47	0,38	0,87	0,92	0,44	4,25	1,49	0,63	0,35	0,33	9,66	13,13
к-25872	0,40	0,20	1,44	0,67	0,28	0,47	0,21	0,67	4,34	0,47	0,98	0,95	0,48	4,06	1,66	0,68	0,40	0,40	10,1	14,42
к-28205	0,35	0,26	1,36	0,59	0,24	0,38	0,22	0,59	3,99	0,43	0,87	0,89	0,45	3,71	1,36	0,64	0,32	0,39	9,06	13,05
к-31125	0,32	0,21	1,22	0,57	0,24	0,44	0,20	0,61	3,81	0,40	0,79	0,82	0,39	3,83	1,68	0,65	0,38	0,40	9,34	13,15
к-31178	0,36	0,24	1,44	0,65	0,28	0,50	0,12	0,59	4,18	0,48	0,71	0,97	0,47	3,24	1,53	0,75	0,36	0,39	8,90	13,08
к-31520	0,44	0,27	1,62	0,65	0,30	0,54	0,18	0,71	4,71	0,55	0,63	0,89	0,61	3,73	1,55	0,77	0,42	0,31	9,46	14,17
к-21694	0,40	0,21	1,54	0,66	0,27	0,53	0,18	0,62	4,41	0,49	1,03	0,87	0,50	3,47	1,62	0,70	0,41	0,40	9,48	13,90
к-30919, st	0,36	0,20	1,40	0,53	0,19	0,40	0,14	0,62	3,84	0,44	0,86	0,80	0,47	3,62	1,70	0,47	0,30	0,25	8,91	12,75
Нудум 15	0,44	0,21	1,56	0,72	0,28	0,51	0,18	0,69	4,59	0,52	1,06	0,86	0,52	3,88	1,72	0,66	0,39	0,26	9,87	14,46
Целесте 17	0,42	0,20	1,48	0,67	0,23	0,51	0,13	0,66	4,30	0,51	1,02	0,85	0,53	3,75	1,68	0,69	0,39	0,28	9,70	14,00
Стрелецкий голозерный	0,47	0,21	1,72	0,77	0,27	0,42	0,20	0,74	4,80	0,57	1,02	0,89	0,58	3,87	1,76	0,50	0,44	0,26	9,89	14,69
НСР _{0,05}	0,03	$F_{\Phi} < F_{\Gamma}$	0,12	0,05	0,03	0,05	0,01	0,08	0,44	0,05	0,08	0,05	0,04	0,21	0,10	0,06	0,02	$F_{\Phi} < F_{\Gamma}$	0,71	1,03

Кроме отмеченных из коллекции по содержанию критических аминокислот восьми сортообразцов, выделилась линия ярового ячменя Целесте 17 по содержанию лизина (0,42 %), массовая доля дефицитных аминокислот в зерне у данной линии (0,78 %) была немного ниже уровня лучших сортообразцов. По содержанию метионина выделились следующие сортообразцы: к-514, к-3115, к-5058, к-13272, к-31178 (0,27–0,28 %); по содержанию триптофана – к-16535, к-16547, к-16827, к-28205, к-31125 (0,19–0,22 %).

Треонин (поддерживает иммунную систему) – не лимитирующая, но важная незаменимая аминокислота, наибольшие значения (0,50–0,58 %) по его содержанию показали 5 сортов и линий, которые обладают наилучшими показателями по сумме дефицитных заменимых аминокислот: к-5411 (0,53 %), к-8923 (0,58 %), к-31520 (0,54 %), к-21694 (0,53 %), Нудум 15 (0,51 %), а также сортообразцы Целесте 17 (0,51 %) и к-31178 (0,50 %). Максимальный показатель по треонину (0,58 %) наблюдался у линии к-8923.

На долю заменимых аминокислот в белке зерна голозерного ячменя в зависимости от сорта приходится 65,6–70,2 % от суммы всех аминокислот. Максимальное количество заменимых аминокислот отмечено у 8 сортов и линий, из них 7 выделились по сумме незаменимых аминокислот и общему содержанию аминокислот: к-4526 (9,68 %), к-5058 (9,88 %), к-5411 (9,64 %), к-25872 (10,10 %), Нудум 15 (9,87 %), Стрелецкий голозерный (9,89 %), Целесте 17 (9,70 %), а также сортообразец к-17372 (9,66 %).

Значительную часть среди заменимых аминокислот составляет глутамин (2,58–4,25 %), укрепляющий память и усиливающий внимание. Незначительная часть приходится на тирозин (0,28–0,44 %) и цистеин (0,25–0,40 %), ответственные за синтез гормонов и работу иммунной системы. Существенных различий по цистеину между сортами голозерного ячменя не выявлено.

Анализ содержания и соотношения незаменимых и заменимых аминокислот в белке сор-

тов голозерного ячменя показал, что, кроме выделившихся из коллекции 8 сортов и линий по сумме незаменимых и лимитирующих аминокислот, заслуживает внимания линия к-4526, которая выделилась по общему содержанию аминокислот в зерне (13,88 %) и имела повышенное содержание незаменимых (4,20 %) и заменимых аминокислот (9,68 %).

Выводы. При изучении коллекции ВИР ярового голозерного ячменя в среднем за 2023–2024 гг. выделилась группа сортов с повышенным содержанием белка независимо от метеорологических условий произрастания (19,0–19,9 % в среднем за годы исследований), которую необходимо вовлекать в скрещивание для создания высокотехнологичных сортов, отражающих их сырьевые достоинства и направления использования: к-5411 (Болгария), к-20041 (Эфиопия), к-25872 (Индия), к-31125 (Челябинская обл.), к-21694 (Свердловская обл.), к-23450 (Эфиопия), к-11069 (Приморский край), к-3115 (Таджикистан).

Из коллекционного и селекционного материала голозерного ячменя, выращенного в засушливых условиях степной зоны Среднего Поволжья, выделены источники высокого содержания незаменимых (4,30–4,80 %) и лимитирующих аминокислот (0,85–0,94 %), а также общего содержания аминокислот (13,88–14,69 %), которые рекомендуются для включения в селекционные программы по созданию высококачественных сортов голозерного ячменя пищевого и кормового назначения: к-4526 (Ивановская обл.), к-5058 (Туркменистан), к-5411 (Болгария), к-6246 (Грузия), к-8923 (Португалия), к-25872 (Индия), к-31520 (Украина), к-21694 (Свердловская обл.), Нудум 15, Целесте 17, Стрелецкий голозерный (селекции ФНЦ ЗБК и СамНЦ РАН). Подтверждена питательная ценность зерна ярового ячменя Стрелецкий голозерный, созданного в сотрудничестве ФНЦ ЗБК и СамНЦ РАН, допущенного к использованию с 2025 года.

Финансирование. Данная работа финансировалась за счет средств бюджета института (регистрационный № 124081300026-3 темы научного исследования).

Библиографический список

1. Аниськов Н. И., Поползухин П. В., Николаев П. Н., Сафонова И. В. Агробиологическая ценность сортов ярового ячменя Омский голозерный 1 и Омский голозерный 2 // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 24–31.
2. Железнов А. В., Кукоева Т. В., Железнова Н. Б. Ячмень голозерный: происхождение, распространение и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17, № 2. С. 286–297.
3. Левакова О. В., Ерошенко Л. М. Высокобелковые сорта и перспективные линии ярового ячменя // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 6. С. 23–25.
4. Лукина К. А., Ковалева О. Н., Лоскутов И. Г. Голозерный ячмень: систематика, селекция и перспективы использования // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 6. С. 524–536.
5. 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.
6. Сумина А. В., Полонский В. И. Содержание ценных веществ в зерне ячменя, выращенного в контрастных климатических условиях // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50, № 1. С. 23–31.
7. Филиппов Е. Г., Дорошенко Э. С. Голозерный ячмень: состояние изученности и перспективы использования // Зерновое хозяйство России. 2015. № 4. С. 8–12.

8. Цандекова О. Л., Неверова О. А. Особенности голозерного ячменя в оценке продуктивности и качества зерна (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2017. № 5. С. 12–15.
9. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Анисимкина Н. В. Оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2023. № 1. С. 23–28.
10. Шаболкина Е. Н., Шевченко С. Н., Бишарев А. А., Калякулина И. А., Анисимкина Н. В. Оценка урожайности, содержания белка в зерне и пленчатости ярового ячменя в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 72–77.
11. Шевченко С. Н., Долженко Д. О., Калякулина И. А. Результаты селекции голозерного ячменя в Среднем Поволжье // Зернобобовые и крупяные культуры. 2021. № 2(38). С. 15–27.

References

1. Anis'kov N. I., Popolzukhin P. V., Nikolaev P. N., Safonova I. V. Agrobiologicheskaya tsennost' sortov yarovogo yachmenya Omskii golozernyi 1 i Omskii golozernyi 2 [Agrobiological value of the spring barley varieties 'Omsky Golozerny 1' and 'Omsky Golozerny 2'] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2015. № 6. S. 24–31.
2. Zheleznov A. V., Kukoeva T. V., Zheleznova N. B. Yachmen' golozernyi: proiskhozhdenie, rasprostraneniye i perspektivy ispol'zovaniya [Hulles barley: origin, distribution and prospects of use] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2013. T. 17, № 2. S. 286–297.
3. Levakova O. V., Eroshenko L. M. Vysokobelkovyye sorta i perspektivnyye linii yarovogo yachmenya [High-protein varieties and promising spring barley lines] // Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2019. № 6. S. 23–25.
4. Lukina K. A., Kovaleva O. N., Loskutov I. G. Golozernyi yachmen'; sistematika, selektsiya i perspektivy ispol'zovaniya [Hulles barley: taxonomy, breeding and prospects of use] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2022. T. 26, № 6. S. 524–536.
5. Polonskii V. I., Loskutov I. G., Sumina A. V. Selekcziya na sodержание antioksidantov v zerne kak perspektivnoye napravleniye dlya polucheniya produktov zdorovogo pitaniya [Breeding for antioxidant content in grain as a promising direction for obtaining healthy food products] // Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii. 2018. T. 22, № 3. S. 343–352.
6. Sumina A. V., Polonskii V. I. Soderzhanie tsennykh veshchestv v zerne yachmenya, vyrashchennogo v kontrastnykh klimaticheskikh usloviyakh [Content of valuable substances in barley grain grown in contrasting climatic conditions] // Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2020. T. 50, № 1. S. 23–31.
7. Filippov E. G., Doroshenko E. S. Golozernyi yachmen' sostoyanie izuchennosti i perspektivy ispol'zovaniya [Hulles barley: state of study and prospects for use] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2015. № 4. S. 8–12.
8. Tsandekova O. L., Neverova O. A. Osobennosti golozernogo yachmenya v otsenke produktivnosti i kachestva zerna (obzor) [Features of hulles barley in estimating productivity and grain quality (review)] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2017. № 5. S. 12–15.
9. Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Anisimkina N. V. Otsenka biokhimicheskikh i tekhnologicheskikh pokazatelei zerna sortov plenchatogo i golozernogo yachmenya v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Estimation of biochemical and technological indicators of grain of hulled and hulles barley varieties in the Middle Volga region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. № 1. S. 23–28.
10. Shabolkina E. N., Shevchenko S. N., Bisharev A. A., Kalyakulina I. A., Anisimkina N. V. Otsenka urozhainosti, sodержaniya belka v zerne i plenchatosti yarovogo yachmenya v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Estimation of productivity, protein percentage in grain and hulliness of spring barley in the Middle Volga region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 4. S. 72–77.
11. Shevchenko S. N., Dolzhenko D. O., Kalyakulina I. A. Rezul'taty selektsii golozernogo yachmenya v Srednem Povolzh'e [Results of hulles barley breeding in the Middle Volga region] // Zernobobovyye i krupyanye kul'tury. 2021. № 2(38). S. 15–27.

Поступила: 06.03.25; доработана после рецензирования: 17.03.25; принята к публикации: 18.03.25.

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. Шаболкина Е. Н. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи; Шевченко С. Н. – концептуализация исследования; Долженко Д. О. – анализ данных и их интерпретация; Калякулина И. А. – выполнение полевых опытов, сбор данных; Анисимкина Н. В. – выполнение химико-технологических анализов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.