Научная статья/Research Article
УДК 633.14: 631.52
DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-58-65

Алена Владимировна Сумина[1✉], **Вадим Игоревич Полонский**[2],
Вера Александровна Ханипова[3]
[1]Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Республика Хакасия, Россия
[1,2,3]Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия
[2]Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
[1]alenasumina@list.ru
[2]vadim.polonskiy@mail.ru
[3]gasi.vera@yandex.ru

АМИНОКИСЛОТНЫЙ СОСТАВ ПШЕНИЧНОГО И ЯЧМЕННОГО ТАЛГАНА

Цель исследования – изучение состава аминокислот в пшенице и ячмене на различных этапах производства национального хакасского продукта талган. Зерна пшеницы и ячменя, выращенные в Бейском районе Республики Хакасия в 2019 и 2022 гг. были обработаны термически при температуре 240–250 °С в течение пяти минут после удаления примесей. Затем обжаренные зерна были измельчены и просеяны для отделения отрубей. В образцах, взятых на каждом технологическом этапе, анализировали аминокислотный состав хроматографическим методом. В результате термической обработки пшеничного зерна происходило несущественное снижение в полученном продукте глютаминовой кислоты с глютамином, лизина, метионина и пролина при одновременном увеличении содержания серина и аспарагиновой кислоты с аспарагином. После термообработки зерна ячменя найдено, с одной стороны, уменьшение содержания гистидина и триптофана в образовавшемся продукте, с другой – наличие несущественного роста концентрации 7 незаменимых аминокислот. На последнем технологическом этапе изготовления пшеничного талгана в полученном продукте показано незначимое снижение содержания треонина, фениланина, гистидина и валина при одновременном существенном повышении концентрации метионина. В ячменном талгане установлено падение уровня треонина, аргинина, фениланина, лейцина с изолейцином и валина при росте содержания триптофана, гистидина и метионина. При изготовлении пшеничного талгана сумма незаменимых аминокислот уменьшилась на 15,4 %, а при получении талгана из ячменя – на 9,7 %. Происходило незначительное обеднение белка незаменимыми аминокислотами, причем в меньшей степени из ячменного зерна, чем из пшеничного.

Ключевые слова: *Triticum aestivum, Hordeum vulgare, зерно пшеницы, зерно ячменя, талган, производство талгана, термообработка зерна, измельчение зерна, содержание аминокислот в талгане*

Для цитирования*: Сумина А.В., Полонский В.И., Ханипова В.А.* Аминокислотный состав пшеничного и ячменного талгана // Вестник КрасГАУ. 2024. № 12. С. 58–65. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-58-65.

Alena Vladimirovna Sumina[1✉], **Vadim Igorevich Polonsky**[2], **Vera Aleksandrovna Khanipova**[3]
[1]Khakass State University named after. N.F. Katanov, Abakan, Republic of Khakassia, Russia
[1,2,3]Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia
[2]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
[1]alenasumina@list.ru
[2]vadim.polonskiy@mail.ru
[3]gasi.vera@yandex.ru

© Сумина А.В., Полонский В.И., Ханипова В.А., 2024
Вестник КрасГАУ. 2024. № 12. С. 58–65.
Bulliten KrasSAU. 2024;(12):58–65.

AMINO ACID COMPOSITION OF WHEAT AND BARLEY TALGAN

The aim of the study is to investigate the amino acid composition of wheat and barley at various stages of production of the national Khakass product talgan. Wheat and barley grains grown in the Beisk District of the Republic of Khakassia in 2019 and 2022 were heat-treated at 240–250 °C for five minutes after removing impurities. The roasted grains were then crushed and sifted to separate the bran. The amino acid composition of samples taken at each technological stage was analyzed by chromatography. As a result of heat treatment of wheat grain, there was an insignificant decrease in the resulting product of glutamic acid with glutamine, lysine, methionine and proline, while the content of serine and aspartic acid with asparagine increased. After heat treatment of barley grain, on the one hand, a decrease in the content of histidine and tryptophan in the resulting product was found, and on the other hand, the presence of an insignificant increase in the concentration of 7 essential amino acids. At the final technological stage of wheat talgan production, the obtained product showed an insignificant decrease in the content of threonine, phenylalanine, histidine and valine with a simultaneous significant increase in the concentration of methionine. In barley talgan, a decrease in the level of threonine, arginine, phenylalanine, leucine with isoleucine and valine was found with an increase in the content of tryptophan, histidine and methionine. In the production of wheat talgan, the amount of essential amino acids decreased by 15.4 %, and in the production of talgan from barley – by 9.7 %. There was a slight depletion of protein in essential amino acids, and to a lesser extent from barley grain than from wheat.

***Keywords**: Triticum aestivum, Hordeum vulgare, wheat grain, barley grain, talgan, talgan production, heat treatment of grain, grinding of grain, amino acid content in talgan*

***For citation**: Sumina A.V., Polonsky V.I., Khanipova V.A.* Amino acid composition of wheat and barley talgan // Bulliten KrasSAU. 2024;(12): 58–65 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-12-58-65.

Введение. Пшеница и ячмень – широко известные зерновые культуры, используемые как на продовольственные, так и кормовые цели. Выявлено, что зерно этих культур обладает не только высокой питательной ценностью, но и множеством полезных свойств. В нем содержатся биологически активные вещества, такие как антиоксиданты (полифенолы), незаменимые аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, бета-глюканы, минералы и витамины. С целью улучшения питательных и функциональных характеристик пшеницы и ячменя, были изучены различные методы их обработки: измельчение, тепловое воздействие, экструзия, ферментация. Как показано на зерне пшеницы и ячменя, наиболее распространенный технологический процесс сухого измельчения позволяет эффективно уменьшить средний размер частиц [1, 2] и повысить антиоксидантную способность зерна [3]. За счет интенсивного измельчения увеличивается биологическая доступность ценных соединений, таких как фенольные кислоты [4].

Улучшение рациона и включение в него функциональных ингредиентов может осуществляться с помощью талгана – национального хакасского продукта из термически обработанных и измельченных зерен пшеницы, ячменя или овса. Талган является источником биологически активных соединений и улучшает здоровье благодаря своему составу, включая белки, жиры, углеводы, клетчатку, витамины и минералы, антиоксиданты и другие полезные вещества. Таким образом, талган повышает качество питания и может быть полезен для людей с недостатком витаминов и минералов или стремящихся укрепить свое здоровье.

Логично предположить, что каждому производителю продовольственных продуктов важно владеть объективной информацией о химическом составе как исходного сырья, так и готового пищевого продукта в аспекте их питательных и функциональных характеристик. При этом целесообразно иметь представление о динамике рассматриваемых показателей на различных технологических этапах производства. В плане получения талгана это, прежде всего, стадии термической обработки и измельчения зернового сырья. Нами недавно показан эффект увеличения суммарного содержания антиоксидантов в конечном продукте при изготовлении ячменного и пшеничного талгана [5]. Информации об изменении содержания других биологически активных веществ, в частности, аминокислот в процессе получения талгана в доступной литературе нам встретить не удалось.

Цель исследования – изучение состава аминокислот в пшенице и ячмене на различных этапах производства национального хакасского продукта талган.

Объект и методы. Изучались образцы пшеницы и ячменя на разных этапах производства талгана, традиционного хакасского продукта. Зерно было собрано в 2019 и 2022 гг. в Бейском районе Республики Хакасия. Образцы для определения содержания аминокислот были взяты на предприятии «Цех по производству полуфабрикатов из зерна «Талган»» (ИП КФК Боргояков П. Г., с. Аскиз, Республика Хакасия). Производство талгана включает несколько этапов. Сначала проводится подготовка зерна, во время которой удаляются все примеси. Затем зерно подвергается термической обработке при температуре 240–250 °С в течение 5 мин с использованием «проточной» технологии. После этого происходит измельчение обжаренного зерна, и затем его просеивают для отделения отрубей.

Результатом этого процесса является получение конечного продукта талгана. Подробно методика изготовления талгана описана нами ранее [6].

В этом исследовании определяли аминокислотный состав зернового сырья на разных этапах производства талгана, начиная с исходного зерна и заканчивая готовым продуктом. Анализ аминокислотного состава белковых компонентов проводился на системе капиллярного электрофореза «КАПЕЛЬ-105М» (производитель «Люмэкс», Россия) в соответствии с ГОСТ Р 55569-2013. Все результаты были усреднены после двух отдельных измерений.

Для статистического анализа данных использовалась программа MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Полученные данные в результате исследования уровней аминокислот в образцах зерновых культур, взятых на разных этапах производства пшеничного талгана, отображены в таблице 1. Можно видеть, что по наибольшему содержанию в исходном и термически обработанном зерне, а также талгане однозначно выделялись глютаминовая кислота и глютамин, второе место занимал пролин. Наименьшим содержанием во всех исследуемых образцах рассматриваемой зерновой культуры характеризовался триптофан.

Таблица 1

Содержание аминокислот в пшеничных зерновых продуктах на разных технологических этапах производства талгана, мг/г сухой массы

Аминокислота	Исходное Зерно	Термически обработанное сырье	Конечный продукт талган
Заменимые аминокислоты			
Тирозин	1,7±0,05 а	1,7±0,2 а	1,4±0,15 а
Серин	2,2±0 а	2,6±0,6 а	2,3±0,2 а
Аланин	1,9±0,1 а	2,0±0,1 а	1,9±0 а
Глицин	2,2±0 а	2,2±0,1 а	2,1±0,05 а
Глютаминовая + глютамин	16,2±2,2 а	13,3±0,55 а	16,2±0,3 а
Аспарагиновая + аспарагин	2,2±0,3 а	2,8±0,25 а	3,1±0,3 а
Цистин	1,2±0,05 а	1,2±0,15 а	1,3±0,55 а
Пролин	5,4±0,15 а	3,8±1,9 аб	5,1±0,15 б
Сумма	33,0	29,6	33,4
Незаменимые аминокислоты			
Лизин	1,4±0,05 а	1,1±0,1 ав	1,1±0 бв
Треонин	1,7±0,05 а	1,6±0,25 ав	1,4±0 бв
Триптофан	0,3±0,05 а	0,3±0 а	0,3±0 а
Аргинин	1,8±0,05 а	1,9±0,05 а	2,0±0,3 а
Фенилаланин	2,4±0,05 а	2,3±0,2 а	1,7±0,55 а
Гистидин	1,4±0,05 а	1,4±0,35 а	1,2±0,3 а
Лейцин+изолейцин	2,5±0,05 а	2,3±0,1 а	2,3±0,05 а
Метионин	1,4±0,1 а	1,0±0,05 а	1,2±0 б
Валин	2,1±0,05 а	2,0±0,05 а	1,8±0,05 а
Сумма	15,0	13,9	13,0

Примечание: значения в колонках с разными буквами различаются существенно между собой в пределах каждой строки по t-критерию при $p \leq 0,05$.

После термической обработки пшеничного зерна было отмечено статистически несущественное снижение в полученном продукте глютаминовой кислоты с глютамином (на 21,8 %), лизина (на 27,3 %), метионина (на 40,0 %) и пролина (на 42,1 %) при одновременном увеличении содержания серина (на 18,2%) и аспарагиновой кислоты с аспарагином (на 27,3 %).

В результате прохождения следующего технологического этапа (измельчения зернового пшеничного продукта и его просеивания) в пшеничном талгане произошло с одной стороны статистически несущественное уменьшение содержания тирозина (на 21,4 %), серина (на 13 %), треонина (на 14,3 %), фенилаланина (на 41 %), гистидина (на 16,7 %), валина (на 11,1 %), с другой – незначимое повышение уровня глютаминовой кислоты с глютамином (на 21,8 %), аспарагиновой кислоты с аспарагином (на 10,7 %), пролина (на 34,2), метионина (на 20,0 %) и аргинина (на 5,3 %).

В итоге в пшеничном талгане по сравнению с исходным зерном имело место существенное снижение содержания незаменимых аминокислот треонина (на 21 %), лизина (на 27 %), метионина (на 17 %), фенилаланина (на 41 %), а также пролина (на 6 %), и статистически не доказанное повышение уровня аргинина и аспарагиновой кислоты с аспарагином.

Согласно выполненным расчетам, при изготовлении пшеничного талгана сумма незаменимых аминокислот уменьшилась на 15,4 %, составив 13 мг/г сухой биомассы в конечном продукте по сравнению с 15 мг/г в исходном зерне. При этом отношение незаменимых аминокислот к заменимым выразилось величиной 39 % в талгане и значением 45,5 % в исходном зерне.

Данные по содержанию аминокислот в ячменном зерновом сырье приведены в таблице 2. Видно, что по наибольшему содержанию в исходном и обжаренном зерне, а также талгане однозначно выделялись глютаминовая кислота с глютамином, второе место занимал пролин. Наименьшим содержанием во всех исследуемых образцах рассматриваемой зерновой культуры характеризовался триптофан.

Таблица 2

Содержание аминокислот в ячменных зерновых продуктах на разных технологических этапах производства талгана, мг/г сухой массы

Аминокислота	Исходное зерно	Термически обработанное сырье	Конечный продукт талган
Заменимые аминокислоты			
Тирозин	1,4±0,1 а	1,5±0,1 а	1,7±0,15 а
Серин	1,9±0,15 а	2,5±0,5 а	2,0±0,3 а
Аланин	1,8±0 а	2,3±0,3 а	2,2±0,35 а
Глицин	1,8±0,05 а	2,3±0,2 а	1,4±0,45 а
Глютаминовая + глютамин	12,6±0,6 а	11,6±0,75 а	11,8±0,6 а
Аспарагиновая + аспарагин	3,7±0,45 а	3,5±0,55 а	3,3±0,3 а
Цистин	1,7±0,8 аб	2,0±0,1 а	1,4±0,2 а
Пролин	4,9±0,8 а	5,7±0,4 а	5,3±0,6 а
Сумма	29,8	31,4	29,1
Незаменимые аминокислоты			
Лизин	1,5±0,25 а	1,5±0 а	1,5±0,15 а
Треонин	1,7±0,25 а	1,9±0,25 а	1,8±0,2 а
Триптофан	0,3±0,05 а	0,2±0,05 а	0,3±0,05 а
Аргинин	3,4±0,25 а	3,9±0,45 а	1,8±0,3 а
Фенилаланин	2,4±0,15 а	2,7±0,15 а	2,4±0,05 а
Гистидин	1,3±0,15 а	0,6±0 б	1,1±0,1 а
Лейцин+изолейцин	2,1±0,1 а	2,5±0,15 а	2,1±0,1 а
Метионин	1,0±0 а	1,2±0,15 аб	1,3±0,15 б
Валин	2,1±0,1 а	2,3±0,15 а	2,1±0,1 а
Сумма	15,8	16,8	14,4

Примечание: значения в колонках с разными буквами различаются существенно между собой в пределах каждой строки по t-критерию при $p \leq 0,05$.

После термической обработки ячменного зерна статистически значимого изменения содержания большинства аминокислот в образовавшемся продукте установлено не было. Исключение составил гистидин, убыль которого выразилась двукратной величиной.

В результате прохождения следующего технологического этапа (измельчения ячменного зернового продукта и его просеивания) существенного изменения концентрации большинства аминокислот в данном продукте найдено не было. С одной стороны, отмечено увеличение содержания тирозина (на 13,3 %), а также незаменимых аминокислот гистидина (на 83,3 %), триптофана (на 50 %) и метионина (на 8,3 %), с другой – статистически незначимое снижение серина (на 25 %), глицина (на 64,3 %), цистина (на 42,9 %), пролина (на 7,5 %), фенилаланина (на 12,5 %), лейцина с изолейцином (на 19 %), валина (на 9,5), аргинина (в 2 раза).

В результате в ячменном талгане по сравнению с исходным зерном было установлено статистически незначимое уменьшение содержания глицина (на 28,6 %), аспарагиновой кислоты с аспарагином (на 12,1 %), цистина (на 21,4 %), аргинина (на 88,9 %), гистидина (на 18,2 %) при одновременном росте концентрации тирозина (на 21,4 %), аланина (на 22,2 %), пролина (на 8,2 %), метионина (на 30 %).

Согласно проведенным расчетам, при изготовлении ячменного талгана сумма незаменимых аминокислот снизилась на 9,7 %, составив 14,4 мг/г сухой биомассы в конечном продукте по сравнению с 15,8 мг/г в исходном зерне. При этом отношение незаменимых аминокислот к заменимым выразилось величиной 49,5 % в талгане и значением 53 % в исходном зерне.

В настоящей работе была предпринята попытка оценить эффект термообработки пшеничного и ячменного зерна, измельчения образовавшегося продукта на его аминокислотный состав. Известно, что усвояемость белка в организме человека есть мера его доступности для ферментативного гидролиза, которая зависит от структуры и химического состава белковой молекулы. Установлено, что половина протеиногенных аминокислот не способна синтезироваться в организме человека и должна поступать с пищей [7]. Такие аминокислоты называются незаменимыми. В проведенном исследовании было показано, что в исходном зерне пшеницы доля незаменимых аминокислот составила 31,2 %, а в исходном зерне ячменя она выразилась величиной 34,6 %. Согласно литературным данным, в белке зерна мягкой пшеницы содержится 21 % незаменимых аминокислот и 79 % заменимых, в зерне ячменя – соответственно: 29,5 и 70,5 % [8, 9]. Такая разница в соотношении аминокислот в зерне у этих культур частично может объясняться более высокой относительной долей обедненных незаменимыми аминокислотами запасных белков проламинов в зерне пшеницы (40–50 %) по сравнению с зерном ячменя (35–45 %) [10].

По абсолютному содержанию в пшеничном и ячменном зерне лидировала глютаминовая кислота. Это химическое соединение, как известно, входит в основном в состав запасных щелочерастворимых белков глютелинов, которые, как и проламины, обеднены незаменимыми аминокислотами. Второе место в зерне обеих культур занимал пролин, что совпадает с данными литературы [11]. Наименьшим содержанием в исходном зерне характеризовался триптофан.

По мере прохождения технологических этапов производства талгана в промежуточных зерновых продуктах наблюдались изменения в содержании большинства аминокислот. Так, после термической обработки пшеничного зерна в образовавшемся продукте, главным образом, было установлено статистически несущественное снижение содержания двух незаменимых аминокислот лизина и метионина. После термической обработки ячменного зерна в полученном продукте отмечалось уменьшение содержания также двух незаменимых аминокислот: гистидина и триптофана, при этом убыль первого выразилась двукратной величиной и была статистически доказана.

Как известно, биологическая ценность белка ячменя обусловлена в основном присутствием в нем аминокислоты триптофана [12]. Поэтому снижение уровня триптофана может свидетельствовать о некотором ухудшении качества белка в ячменном зерновом продукте после прохождения им этапа термообработки. Несмотря на это, подчеркнем наличие статистически несущественного роста концентрации 7 незаменимых аминокислот в продукте после термообработки зерна ячменя: треонина, фениланина, аргинина, лейцина с изолейцином, метионина и валина. Отмечая положительный баланс незаменимых аминокислот в данном продукте после описываемого технологического этапа (увеличение составило 1,8, а уменьшение – 0,8 мг/г сухого вещества), можно сказать о положитель-

ной роли тепловой обработки зерна в повышении качества белка зернового продукта.

Литературные источники указывают на отрицательное воздействие термической обработки зерна на уровень аминокислот. Высокие температуры (от 78 до 85 °С), возникающие при механической обработке пшеницы, вызывают снижение доступности некоторых аминокислот из-за образования устойчивых пептидных связей. Уменьшение содержания незаменимых аминокислот, таких как лизин и аргинин, может быть связано с реакцией Майяра, при которой эти вещества соединяются с углеводами [13]. Также исследования показывают, что термическая обработка зерен овса при температуре 140 °С в течение 45 мин или 240 °С на протяжении 15 мин меняет вторичную структуру глобулинов и уменьшает количество определенных аминокислот. Однако отмечается улучшение усвояемости овсяного глобулина *in vitro* [14].

На последнем технологическом этапе изготовления пшеничного талгана в результате измельчения зернового продукта и его просеивания в образовавшемся талгане было найдено статистически незначимое уменьшение содержания четырех незаменимых аминокислот: треонина, фениланина, гистидина и валина, при одновременном существенном повышении концентрации метионина. Исследование ячменного талган выявило уменьшение концентрации пяти незаменимых аминокислот: треонина, аргинина, фенилаланина, лейцина и валина. Однако было замечено увеличение содержания трех других незаменимых аминокислот: триптофана, гистидина и метионина.

В итоге по сравнению с исходным пшеничным зерном в талгане наблюдалось уменьшение концентрации 7 незаменимых аминокислот и увеличение лишь одной. В случае с ячменным талганом установлено и снижение, и повышение содержания двух незаменимых аминокислот.

Установлено, что при изготовлении пшеничного талгана сумма незаменимых аминокислот уменьшилась на 15,4 %, составив 13 мг/г сухой биомассы в конечном продукте по сравнению с 15 мг/г в исходном зерне, а при получении талгана из ячменя сумма незаменимых аминокислот снизилась на 9,7 %, составив 14,4 мг/г сухой биомассы в конечном продукте по сравнению с 15,8 мг/г в исходном зерне. Таким образом, при изготовлении талгана происходило незначительное обеднение белка незаменимыми аминокислотами, причем в меньшей степени из ячменного зерна, чем из пшеничного.

Заключение

1. В результате термической обработки пшеничного зерна отмечено несущественное снижение в полученном продукте глютаминовой кислоты с глютамином, лизина, метионина и пролина при одновременном увеличении содержания серина и аспарагиновой кислоты с аспарагином.

2. После термообработки зерна ячменя найдено с одной стороны, уменьшение содержания гистидина и триптофана в образовавшемся продукте, с другой – наличие несущественного роста концентрации 7 незаменимых аминокислот.

3. На последнем технологическом этапе изготовления пшеничного талгана в полученном продукте установлено незначимое снижение содержания треонина, фениланина, гистидина и валина при одновременном существенном повышении концентрации метионина.

В ячменном талгане показано падение уровня треонина, аргинина, фениланина, лейцина с изолейцином и валина при росте содержания триптофана, гистидина и метионина.

4. Установлено, что при изготовлении талгана происходит незначительное обеднение белка незаменимыми аминокислотами: на 15,4 в пшеничном и на 9,7 % в ячменном продукте.

Список источников

1. Exploring dry grain fractionation as a means to valorize highprotein malting barley / *M. Izydorczyk* [et al.] // Cereal Chemistry. 2021. Vol. 98. P. 840–850. DOI: 10.1002/cche.10426.
2. Effect of wheat bran ball-milling on fragmentation and marker extractability of the aleurone layer / *C. Antoine* [et al.] // Journal of Cereal Science. 2004. Vol. 40. P. 275–282.
3. Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran / *N.N. Rosa* [et al.] // Journal of Cereal Science. 2013. Vol. 57. P. 84–90.
4. Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions / *Y.M. Hemery* [et al.] // Food Research International. 2010. Vol. 43. P. 1429–1438.
5. *Сумина А.В., Полонский В.И., Шалдаева Т.М.* Зависимость суммарного содержания антиоксидантов в талгане от этапов его изготовления и вида исходного сырья // Вестник КрасГАУ. 2020. № 12. С. 209–214.

6. *Сумина А.В., Полонский В.И.* Способ получения зернового продукта с повышенной функциональной ценностью // Пищевая промышленность. 2022. № 2. С. 36–40. DOI: 10.52653/PPI.2022.2.2.008.
7. *Sá A.G.A., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M.* Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet // Trends in Food Science and Technology. 2020. Vol. 97. P. 170–184. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.011.
8. *Зенькова М.Л.* Исследование минерального и аминокислотного состава пророщенного и консервированного зерна пшеницы // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49 (4). С. 513–521. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-4-513-521.
9. Cereal Processing By-Products as Rich Sources of Phenolic Compounds and Their Potential Bioactivities / *A. Farcas* [et al.] // Nutrients. 2021. Vol. 13. P. 3934. DOI: 10.3390/nu1311 3934.
10. Whole Grains as potential health foods / *F.M. Allai* [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. 2022. Vol. 57. P. 1849–1865. DOI:10.1111/ijfs.15071.
11. Free asparagine and sugars profile of cereal species: the potential of cereals for acrylamide formation in foods / *S. Žilić* [et al.] // Food Additives and Contaminants: Part A. 2017. P. 1290281. DOI: 10.1080/19440049.2017.12 90281.
12. *Никитенко А.Н., Домаш В.И., Шейко А.Ч.* Исследование аминокислотного состава белков семян злаковых и зернобобовых культур белорусской селекции // Труды Белорусского государственного технического университета. Сер.: Химия, технология органических веществ, биотехнология. 2015. № 4. С. 211–216.
13. *Prabhasankar P.,·Rao P.H.* Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour // European Food Research Technology. 2001. Vol. 213. P. 465–469. DOI: 10.1007/s002170100407.
14. *He T., Wang J., Hu X.* Effect of heat treatment on the structure and digestion properties of oat globulin // Cereal Chemistry. 2021. Vol. 98 (3). P. 740–748. DOI: 10.1002/cche.10417.

References

1. Exploring dry grain fractionation as a means to valorize highprotein malting barley / *M. Izydorczyk* [et al.] // Cereal Chemistry. 2021. Vol. 98. P. 840–850. DOI: 10.1002/cche.10426.
2. Effect of wheat bran ball-milling on fragmentation and marker extractability of the aleurone layer / *C. Antoine* [et al.] // Journal of Cereal Science. 2004. Vol. 40. P. 275–282.
3. Ultra-fine grinding increases the antioxidant capacity of wheat bran / *N.N. Rosa* [et al.] // Journal of Cereal Science. 2013. Vol. 57. P. 84–90.
4. Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions / *Y.M. Hemery* [et al.] // Food Research International. 2010. Vol. 43. P. 1429–1438.
5. *Sumina A.V., Polonskij V.I., Shaldaeva T.M.* Zavisimost' summarnogo soderzhaniya antioksidantov v talgane ot `etapov ego izgotovleniya i vida ishodnogo syr'ya // Vestnik KrasGAU. 2020. № 12. S. 209–214.
6. *Sumina A.V., Polonskij V.I.* Sposob polucheniya zernovogo produkta s povyshennoj funkcional'noj cennost'yu // Pischevaya promyshlennost'. 2022. № 2. C. 36–40. DOI: 10.52653/PPI.2022.2.2.008.
7. *Sá A.G.A., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M.* Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet // Trends in Food Science and Technology. 2020. Vol. 97. P. 170–184. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.01.011.
8. *Zen'kova M.L.* Issledovanie mineral'nogo i aminokislotnogo sostava proroschennogo i konservirovannogo zerna pshenicy // Tehnika i tehnologiya pischevyh proizvodstv. 2019. T. 49 (4). S. 513–521. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-4-513-521.
9. Cereal Processing By-Products as Rich Sources of Phenolic Compounds and Their Potential Bioactivities / *A. Farcas* [et al.] // Nutrients. 2021. Vol. 13. P. 3934. DOI: 10.3390/nu1311 3934.
10. Whole Grains as potential health foods / *F.M. Allai* [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. 2022. Vol. 57. P. 1849–1865. DOI:10.1111/ijfs.15071.

11. Free asparagine and sugars profile of cereal species: the potential of cereals for acrylamide formation in foods / *S. Žilić* [et al.] // Food Additives and Contaminants: Part A. 2017. P. 1290281. DOI: 10.1080/19440049.2017.1290281.
12. *Nikitenko A.N., Domash V.I., Shejko A.Ch*. Issledovanie aminokislotnogo sostava belkov semyan zlakovyh i zernobobovyh kul'tur belorusskoj selekcii // Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Ser.: Himiya, tehnologiya organicheskih veschestv, biotehnologiya. 2015. № 4. S. 211–216.
13. *Prabhasankar P.,·Rao P.H*. Effect of different milling methods on chemical composition of whole wheat flour // European Food Research Technology. 2001. Vol. 213. P. 465–469. DOI: 10.1007/s002170100407.
14. *He T., Wang J., Hu X*. Effect of heat treatment on the structure and digestion properties of oat globulin // Cereal Chemistry. 2021. Vol. 98 (3). P. 740–748. DOI: 10.1002/cche.10417.

Статья принята к публикации 05.10.2024 / The article accepted for publication 05.10.2024.

Информация об авторах:

Алена Владимировна Сумина[1], доцент кафедры химии и геоэкологии Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Вадим Игоревич Полонский[2], профессор кафедры ландшафтной архитектуры и ботаники Красноярского государственного аграрного университета, доктор биологических наук, профессор
Вера Александровна Ханипова[3], доцент кафедры эпизоотологии, микробиологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Alena Vladimirovna Sumina[1], Associate Professor at the Department of Chemistry and Geoecology at the Khakass State University named after. N.F. Katanov, Candidate of Agricultural Sciences, Docent
Vadim Igorevich Polonsky[2], Professor at the Department of Landscape Architecture and Botany at the Krasnoyarsk State Agrarian University, Doctor of Biological Sciences, Professor
Vera Aleksandrovna Khanipova[3], Associate Professor at the Department of Epizootology, Microbiology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Expertise, Candidate of Biological Sciences