



## Исследование изменения аминокислотного состава зерновых колосовых культур в процессе созревания

Ю. Ф. Лачуга<sup>1</sup>, Б. Ч. Месхи<sup>2</sup>, В. И. Пахомов<sup>2,3</sup>,  
Д. В. Рудой<sup>2,3</sup>✉, С. И. Камбулов<sup>2,3</sup>, Т. А. Мальцева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российская академия наук

(г. Москва, Российская Федерация)

<sup>2</sup> Донской государственный технический университет

(г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

<sup>3</sup> Аграрный научный центр «Донской»

(г. Зерноград, Российская Федерация)

✉ rudoy.d@gs.donstu.ru

### Аннотация

**Введение.** Аминокислотный состав комбикорма имеет огромное значение в кормлении всех видов животных. Недостаток той или иной аминокислоты ограничивает усвоение других аминокислот, в результате чего происходит чрезмерный расход комбикорма, ухудшается обмен веществ в организме животных, возрастает их восприимчивость к болезням. Использование зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости как кормового сырья – перспективное направление развития кормовой базы, которое позволит получить сбалансированный по аминокислотному составу комбикорм с меньшим содержанием дорогостоящей рыбной муки – основного источника белка в комбикормах.

**Цель статьи.** Определить оптимальную стадию зерновых колосовых культур, при которой наблюдается высокое содержание белка и протеиногенных аминокислот. Предложенная технология и техническое средство ранней уборки зерновых колосовых культур позволит сократить агротехнологические сроки уборки, снизить потери от самоосыпания, и получить зерно повышенной питательной ценности.

**Материалы и методы.** Для исследования аминокислотного состава были взяты 4 образца зернового вороха: озимой пшеницы сорта «адмирал» и «лучезар», многолетней озимой пшеницы (трититригия) сорта «памяти Любимовой» и пырея сизого сорта «сова». Уборка пшеницы указанных сортов осуществлялась очесывающе-обмолачиваемым агрегатом в пяти фенологических стадиях (фазы роста представлены по шкале ВВСН): 77 – поздняя молочная спелость, 83 – ранняя фаза восковой спелости, 87 – твердая восковая спелость, 89 – полное созревание, 92 – перезрелость.

**Результаты исследования.** Результаты изучения аминокислотного состава четырех образцов зернового вороха пшеницы показали высокое содержание практически всех исследуемых аминокислот в фазе твердой восковой спелости, за исключением показателей аспарагиновой кислоты и аспарагина, глутаминовой кислоты и глутамина, а также триптофана.

**Обсуждение и заключение.** Зерновой ворох пшеницы восковой спелости является перспективным зерновым сырьем для производства комбикормов. Он позволит уменьшить количество дорогих компонентов, например, рыбной муки.

© Лачуга Ю. Ф., Месхи Б. Ч., Пахомов В. И., Рудой Д. В., Камбулов С. И., Мальцева Т. А., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Ключевые слова:** аминокислотный состав, пшеница, комбикорм, восковая спелость, многолетняя пшеница, сизый пырей «сова», трититригия

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарности:** авторы выражают признательность анонимным рецензентам.

**Для цитирования:** Исследование изменения аминокислотного состава зерновых колосовых культур в процессе созревания / Ю. Ф. Лачуга [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 4. С. 508–523. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.508-523>

*Original article*

## Study of Changes in the Amino Acid Composition of Spiked Cereals during the Ripening Process

Yu. F. Lachuga<sup>a</sup>, B. Ch. Meskhi<sup>b</sup>, V. I. Pakhomov<sup>b,c</sup>,  
D. V. Rudoy<sup>b,c</sup>✉, S. I. Kambulov<sup>b,c</sup>, T. A. Maltseva<sup>b</sup>

<sup>a</sup> *Russian Academy of Sciences  
(Moscow, Russian Federation)*

<sup>b</sup> *Don State Technical University  
(Rostov-on-Don, Russian Federation)*

<sup>c</sup> *Agrarian Research Center Donskoy  
(Zernograd, Russian Federation)*

✉ [rudoy.d@gs.donstu.ru](mailto:rudoy.d@gs.donstu.ru)

### Abstract

**Introduction.** The amino acid composition of compound feed is of great importance in feeding all kinds of animals. The lack of one or another amino acid limits the assimilation of other amino acids, resulting in excessive compound feed consumption, deterioration of the metabolism in the bodies of animals and increasing of their susceptibility to diseases. The use of grain heaps of wheat in the early ripening stages as feed raw materials is a promising direction for the development of the fodder base that will provide a balanced amino acid composition of compound feed with a lower content of expensive fish meal, which is the main source of protein in compound feeds.

**Aim of the Article.** The article is aimed at determining the optimal ripening stage of spiked cereals, at which a high content of protein and proteinogenic amino acids is observed. The proposed technology and technological tools for early harvesting of spiked cereals will reduce agrotechnical terms of harvesting, reducing losses from shatter losses, and get grain of enhanced nutritive value.

**Materials and Methods.** To study the amino acid composition, 4 samples of a winter wheat grain heap were taken: the winter wheat varieties Admiral and Luchezar, the perennial winter wheat (triticigria) variety Pamyati Lyubimovoy and the gray wheatgrass variety Sovo. Harvesting the wheat of these varieties was carried out by a combing-threshing unit in 5 phenological stages (growth stages are presented on the BBCH scale): 77 – late milk ripeness, 83 – early phase of wax ripeness, 87 – gold wax ripeness, 89 – full ripeness, 92 – overripeness.

**Results.** The results of analyzing amino acid composition of 4 samples of wheat grain heap showed a high content of almost all the amino acids studied in the phase of gold wax ripeness, except of aspartic acid and asparagine, glutamic acid and glutamine, and tryptophan.

**Discussion and Conclusion.** Grain heap of waxy ripeness wheat is a promising grain raw material for the production of compound feeds, which will reduce the amount of expensive components, such as fishmeal.

**Keywords:** amino acid composition, wheat, compound feed, wax ripeness, perennial wheat, gray wheatgrass sova, trititrigia

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgements:** The authors express their gratitude to the anonymous reviewers.

**For citation:** Lachuga Yu.F., Meskhi B.Ch., Pakhomov V.I., Rudoy D.V., Kambulov S.I., Maltseva T.A. Study of Changes in the Amino Acid Composition of Spiked Cereals during the Ripening Process. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(4):508–523. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202304.508-523>

## Введение

По данным Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), а также Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО) на 2021 год<sup>1</sup>, в ближайшие 10 лет будет увеличиваться спрос на сельскохозяйственные продукты. В том числе на комбикорма и сырье для его производства. Для правильного роста и развития животных и рыб необходимо обеспечить им полнорационное кормление, удовлетворяющее потребности во всех необходимых веществах. Особое значение уделяется аминокислотам, дефицит которых приводит к нарушению роста и ухудшению общего состояния животного.

Так, важную роль в питании играют лимитирующие (критические) аминокислоты, дефицит или избыток которых влияет на усвоение других аминокислот. Лимитирующие аминокислоты у разных видов животных отличаются. Для птиц таковыми являются метионин и цистин, для свиней – лизин.

При составлении рецептуры кормов необходимо учитывать аминокислотный скор (отношение количества незаменимых аминокислот в исследуемом образце к количеству этих аминокислот в идеальном белке) и лимитирующие аминокислоты. В растительном сырье это триптофан, метионин и лизин. Белок животного происхождения более сбалансирован: к лимитирующим можно отнести фенилаланин и гистидин. Белок из дрожжевого сырья представлен лимитами гистидина, метионина и фенилаланина. Недостаток лимитирующих аминокислот в кормах может привести к нарушению обмена веществ, снижению иммунитета, ожирению и большому расходу корма [1].

По данным исследований<sup>2</sup> [2; 3], в процессе роста и созревания зерновых культур происходит изменение их биологической ценности. Максимальное содержание белка и клейковины в зерне пшеницы наблюдается в стадии молочно-восковой спелости. Кроме того, дополнительным источником питательных веществ может служить незерновая часть пшеницы. Данный вид кормового сырья раньше активно применялся в комбикормовом производстве при стационарном обмолоте. В настоящее время комбайновая уборка не предполагает сбор незерновой части, в результате чего использование такого вида кормового сырья было прекращено.

Таким образом, использование зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости как кормового сырья является перспективным направлением развития кормовой базы и позволит получить сбалансированный по аминокислотному составу комбикорм с меньшим содержанием дорогостоящей рыбной муки – основного источника белка в комбикормах.

<sup>1</sup> OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. Paris: OECD Publishing. 2021. URL: <https://doi.org/10.1787/19428846-en> (дата обращения: 20.06.2023).

<sup>2</sup> Абрисимова Н. А., Абрисимов С. С., Саенко Е. М. Кормовое сырье и добавки для объектов аквакультуры. 2-е изд. испр. Ростов н/Д: Медиа-Полис. 2006. 147 с.

В статье [3] представлены результаты изменения общего количества аминокислот в гранулированном корме, полученных из зернового вороха разных фаз спелости. Для определения лимитирующих аминокислот в зерновом ворохе, а также изменения аминокислотного состава в процессе созревания, необходимо получить данные по изменению массовой доли каждой аминокислоты. Полученные данные позволят правильно рассчитать аминокислотный скор производимого комбикорма при составлении рецептуры и получить конечный продукт высокого качества.

### Обзор литературы

Изменению состава зерна в процессе созревания и его применению в кормовой и пищевой промышленности посвящено большое количество работ. Одним из главных преимуществ уборки зерна на ранних стадиях спелости является сокращение потерь. Известно, что после полного созревания зерна происходит процесс самоосыпания, и при несоблюдении агросроков уборки потери могут составлять по разным данным от 20 до 40 % после 20 дней наступления полной спелости<sup>3</sup> [4–5]. Уборка зерна на ранней стадии спелости позволит сократить биологические потери и увеличить урожайность. Еще одним преимуществом уборки зерна ранних фаз спелости является его повышенная питательная ценность.

В одном из изученных нами исследований дано сравнение состава зерна трех сортов спельты в стадии молочной и полной спелости [6]. Образцы были проанализированы на содержание минеральных веществ (макро- и микронутриентов), заменимых и незаменимых аминокислот, жира и жирных кислот. Однако данные по изменению массовой доли незаменимой аминокислоты – триптофана, которая является лимитирующей в зерновом сырье, не представлены. Кроме того, отсутствуют данные по изменению состава зерна в фазе молочно-восковой и восковой спелости, что не дает общей картины изменения компонентов зерна в процессе созревания и не позволяет сделать вывод о стадии, в которой целесообразно убирать зерно и использовать его для пищевых и кормовых целей.

В другом научном исследовании представлены результаты анализа пищевой ценности спельты полной и молочной спелости [7]. Зерно молочной спелости предварительно подвергалось сушке при температуре 230 °С. В процессе сушки зерно меняло свой цвет от зеленого до желтовато-коричневого (золотистого). Сравнительная характеристика показала, что содержание белка выше в зеленой полбе (молочная спелость) на 0,1 %. Содержание углеводов меньше на 2,4 %. Полученные авторами данные не позволяют определить оптимальную стадию спелости, при которой наблюдается наибольшее содержание питательных веществ. Кроме того, зерно молочной спелости подвергается высокой температурной обработке в течение 12 часов, что может вызвать снижение количества аминокислот и белка за счет денатурации и, соответственно, повлиять на результаты анализов [8].

Также учеными проводилось исследование трех разных сортов пшеницы в четырех стадиях спелости (десятый, пятнадцатый, двадцатый и двадцать пятый дни после цветения при фазе полной спелости в качестве контроля) на следующие показатели: влажность, зольность, белок [9]. В том числе анализировались функциональные питательные вещества: клетчатка, фруктаны, фенолы, антиоксиданты, а также фитиновая кислота. Так, накопление функциональных соединений происходит до стадии

<sup>3</sup> Пьянов В. С. Крупнотоварное производство зерна : моногр. Ставрополь. 2014. 244 с. EDN: WZGWBN ; Фусточенко А. Ю. Повышение эффективности функционирования жатки очесывающего типа совершенствованием параметров и режимов работы обтекателя : дис. ... канд. техн. наук. Ростов н/Д, 2015. 152 с.

молочной спелости. Затем они расходуется в процессе созревания зерна. При этом максимальное содержание белка и функциональных соединений наблюдается через 10 дней после цветения (молочная спелость). Далее компоненты пропорционально уменьшаются, и к полной спелости содержание белка уменьшается в среднем на 1,5 %.

Важно отметить, что в рассмотренных нами работах использована разная шкала определения той или иной фазы спелости. Ряд авторов для анализа изменения состава зерна использовали шкалу ВВСН [10–14]. В работе [10] рассматривалось изменение белкового состава (доля глиадина и глютеина) в зависимости от стадии заболачивания (стадия появления первого узла (ВВСН 31) и стадия колошения (ВВСН 51)).

Российские ученые исследовали несколько сортов зерна пшеницы и тритикале на разных стадиях спелости: молочной, тестообразной, восковой, твердой и на стадии перестоя [4]. Было определено, что максимальное содержание белка и клейковины наблюдалось в стадии молочной спелости. В тестообразной стадии количество питательных веществ уменьшалось. Далее оно снова увеличилось при фазах восковой и твердой спелости.

Таким образом, большое количество исследований различных российских и зарубежных ученых подтверждают, что на ранних фазах спелости зерно содержит больше питательных, функциональных и других полезных веществ<sup>4</sup> [15–24].

Несмотря на большое количество существующих работ, нет информации по изменению аминокислотного состава зернового вороха на разных стадиях спелости. В связи с этим возникла необходимость провести анализ изменения аминокислотного состава в процессе созревания с целью определения оптимальной стадии созревания, при которой наблюдается максимальное содержание аминокислот с фиксацией каждой фазы по шкале ВВСН. Поскольку аминокислоты являются составляющей белка пшеницы, помимо аминокислотного состава зерновой ворох необходимо исследовать на содержание белка.

### Материалы и методы

Для исследования аминокислотного состава были взяты четыре образца зернового вороха: озимой пшеницы сорта «адмирал» (ригидный сорт) и «лучезар» (легкообмолачиваемый сорт), многолетней озимой пшеницы (трититригия) сорта «памяти Любимовой» и пырея сизого сорта «сова».

Посев данных сортов был произведен на полях Аграрного научного центра «Донской» Зерноградского района Ростовской области в 2021 году. Почва опытного участка представляет собой чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый (Vogonic Chernozems Pachic по WRB2014). Содержание гумуса в почве (по Тюрину) – 3,3 %, общего азота (ионометрический метод) – 28,2 мг/кг почвы; подвижного фосфора (по Кирсанову) – 19,0–24,5 мг/кг; калия (по Кирсанову) – 327–337 мг/кг почвы, pH солевой вытяжки – 7,1. За период вегетации растений проведены три подкормки удобрениями. Первую подкормку аммофосом в дозе 100 кг/га вносили одновременно с посевом семян, вторую и третью подкормки аммиачной селитрой по 70 кг/га вносили в фазу весеннего кущения и фазу выхода растений в трубку.

Уборку зерна на разных стадиях спелости осуществляли в июне 2022 года очесывающе-обмолачивающим агрегатом, созданным в результате совместной работы Аграрного научного центра «Донской» и Донского государственного технического университета (Патент RU 206 314 U1 МПК А01D 41/08 (2006.01)) [25; 26]. При проведении лабораторных исследований уборки зерна агрегатом была выбрана

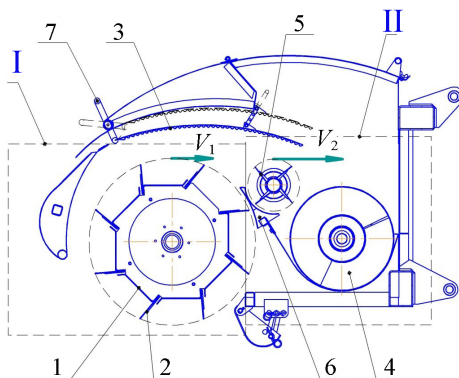
<sup>4</sup> Корнев Г. В. Биологическое обоснование сроков и способов уборки зерновых культур. М. : Колос, 1971. 160 с.

длина очесывающего барабана  $l = 2$  м. Для использования агрегата в промышленных масштабах длина очесывающего барабана должна быть не менее 6 м. Очесывающе-обмолачивающий агрегат будет агрегатироваться с трактором типа Т-150.

Выбор агрегата для уборки зерновых колосовых культур обоснован возможностью получить зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости. Традиционная комбайновая уборка, включающая операции срезания колоса, его обмолота и выделения зерна, не позволяет убирать зерно на ранних стадиях спелости, поскольку в такой стадии зерно имеет сильную связь с колосом и не может быть выделено в молотильном барабане. Применение очесывающей жатки, агрегируемой с комбайном, для уборки зерна ранних фаз спелости так же не эффективно, поскольку после очесывания колоса зерновая масса поступает в молотильный барабан и далее на разделение зерна от зерновой примеси.

Дополнительным преимуществом очесывающе-обмолачивающего агрегата для уборки зерновых колосовых культур является агрегирование с трактором, который имеет небольшие энергоёмкость и вес, что обеспечивает меньшее давление на почву. Схема и процесс работы очесывающе-обмолачивающего агрегата представлены на рисунках 1 и 2.

Полученный зерновой ворох пяти фенологических стадий (фазы роста представлены по шкале ВВСН: 77 – поздняя молочная спелость (рис. 3), 83 – ранняя фаза восковой спелости, 87 – твердая восковая спелость, 89 – полное созревание, 92 – перезрелость [10–14]) был проанализирован на протеиногенные незаменимые (лизин, фенилаланин, лейцин, изолейцин, метионин, валин, треонин, триптофан) и заменимые (аргинин, тирозин, гистидин, пролин, серин, аланин, цистин, аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота) аминокислоты по стандартной методике, описанной в ГОСТ Р 55569 и ГОСТ Р 52347 методом капиллярного электрофореза на оборудовании «Капель 104-Т». Массовую долю белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 10846 с помощью дигестора серии ДК 8 и полуавтоматического дистиллятора UDK 139.



Р и с. 1. Схема агрегата для уборки урожая новым агрегатом I – очесывающий блок; II – обмолачивающий блок; 1 – очесывающий барабан; 2 – очесывающие гребенки; 3 – сменные деки; 4 – транспортирующий шнек; 5 – лопастной битер; 6 – отсекающий щиток; 7 – механизм параллельного и углового перемещения;  $V_1$  – линейная скорость на радиусе очесывающего барабана;  $V_2$  – линейная скорость на радиусе лопастного битера

Fig. 1. The scheme of the harvesting unit with a new aggregate I – combing block; II – threshing block; 1 – combing drum; 2 – combing combs; 3 – replaceable decks; 4 – transporting screw; 5 – blade beater; 6 – cutting flap; 7 – mechanism of parallel and angular displacement;  $V_1$  – linear velocity at the radius of the combing drum;  $V_2$  – linear speed at the radius of the blade beater





Р и с. 2. Процесс уборки зерновых колосовых культур ранних фаз спелости очесывающе-обмолачивающим агрегатом  
 Fig. 2. Process of harvesting spiked cereals of the early phases of ripeness with a combing and threshing unit



Р и с. 3. Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости  
 Fig. 3. Grain heap of wheat of early ripeness phases

Анализ полученного вороха зерновых колосовых культур на содержание массовой доли аминокислот и белка был проведен в течение 24 часов после его уборки.

**Результаты исследования**

Результаты анализа аминокислотного состава четырех образцов зернового вороха пшеницы представлены в таблицах 1–4. Результаты анализа массовой доли белка четырех образцов представлены на рисунке 4.

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

**Изменение аминокислотного состава зернового вороха озимой пшеницы сорта «адмирал» в процессе созревания**

**Changes in the amino acid composition of the grain heap of winter wheat of the variety Admiral during the ripening process**

Наименование аминокислоты, % / Name of the amino acid, %	Фаза роста по шкале BBCH / BBCH growth stage				
	77	83	87	89	92
1	2	3	4	5	6
Аргинин / Arginine	0,38±0,15	0,42±0,17	0,66±0,26	0,68±0,27	0,66±0,26
Лизин / Lysine	0,36±0,12	0,49±0,17	0,73±0,25	0,66±0,22	0,55±0,19
Тирозин / Tyrosine	0,25±0,08	0,28±0,08	0,34±0,10	0,30±0,09	0,28±0,08
Фенилаланин / Phenylalanine	0,35±0,11	0,30±0,09	0,58±0,17	0,52±0,16	0,49±0,15
Гистидин / Histidine	0,25±0,13	0,31±0,16	0,54±0,27	0,60±0,30	0,63±0,32
Лейцин + изолейцин / Leucine + isoleucine	0,90±0,23	0,95±0,25	1,13±0,29	1,15±0,30	1,18±0,31
Метионин / Methionine	0,13±0,04	0,15±0,05	0,26±0,09	0,19±0,06	0,19±0,06
Валин / Valin	0,46±0,18	0,40±0,16	0,65±0,26	0,68±0,27	0,70±0,28
Пролин / Proline	0,81±0,21	0,75±0,20	1,17±0,30	1,30±0,34	1,32±0,34
Треонин / Threonine	0,33±0,13	0,30±0,12	0,58±0,23	0,58±0,23	0,61±0,25
Серин / Serin	0,41±0,11	0,35±0,91	0,65±0,26	0,64±0,23	0,60±0,16
Аланин / Alanin	0,41±0,11	0,35±0,91	0,77±0,20	0,67±0,17	0,63±0,16

Окончание табл. 1 / End of table 1

1	2	3	4	5	6
Глицин / Glycine	0,43±0,15	0,35±0,12	0,66±0,22	0,60±0,20	0,58±0,20
Цистин / Cystine	0,33±0,17	0,25±0,13	0,46±0,23	0,40±0,20	0,37±0,19
Аспарагиновая кислота + аспарагин / Aspartic acid + asparagine	0,49±0,20	0,63±0,25	0,45±0,18	0,31±0,12	0,30±0,12
Глутаминовая кислота + глутамин / Glutamic acid + glutamine	1,40±0,56	0,83±0,33	0,58±0,23	0,55±0,22	0,50±0,20
Триптофан / Tryptophan	0,35±0,14	0,28±0,11	0,22±0,09	0,16±0,06	0,14±0,06
Сумма / Total	8,04	7,39	10,43	9,99	9,73

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

**Изменение аминокислотного состава зернового вороха озимой пшеницы  
сорта «лучезар» в процессе созревания**

**Changes in the amino acid composition of the grain heap of winter wheat  
of the variety Luchezar during the ripening process**

Наименование аминокислоты, % / Name of the amino acid, %	Фаза роста по шкале BBCH / BBCH growth phase				
	77	83	87	89	92
Аргинин / Arginine	0,33±0,13	0,37±0,15	0,47±0,19	0,57±0,29	0,57±0,23
Лизин / Lysine	0,27±0,09	0,30±0,10	0,33±0,11	0,31±0,11	0,25±0,09
Тирозин / Tyrosine	0,21±0,06	0,22±0,07	0,30±0,09	0,28±0,08	0,21±0,06
Фенилаланин / Phenylalanine	0,38±0,11	0,33±0,10	0,54±0,16	0,47±0,14	0,42±0,13
Гистидин / Histidine	0,17±0,09	0,21±0,11	0,49±0,25	0,56±0,28	0,60±0,30
Лейцин + изолейцин / Leucine + isoleucine	0,88±0,23	0,92±0,24	1,24±0,32	1,27±0,33	1,30±0,34
Метионин / Methionine	0,09±0,03	0,10±0,03	0,22±0,07	0,17±0,06	0,14±0,05
Валин / Valin	0,41±0,16	0,25±0,10	0,52±0,20	0,53±0,21	0,55±0,22
Пролин / Proline	0,91±0,24	0,77±0,20	1,24±0,32	1,27±0,33	1,30±0,34
Треонин / Threonine	0,28±0,06	0,25±0,10	0,42±0,17	0,42±0,17	0,41±0,16
Серин / Serin	0,42±0,11	0,39±0,10	0,63±0,16	0,59±0,15	0,58±0,15
Аланин / Alanin	0,34±0,09	0,31±0,08	0,55±0,14	0,51±0,13	0,49±0,13
Глицин / Glycine	0,36±0,12	0,41±0,14	0,64±0,22	0,55±0,19	0,52±0,18
Цистин / Cystine	0,29±0,15	0,23±0,12	0,31±0,16	0,25±0,13	0,20±0,10
Аспарагиновая кислота + аспарагин / Aspartic acid + asparagine	0,48±0,19	0,53±0,21	0,33±0,13	0,26±0,10	0,23±0,09
Глутаминовая кислота + глутамин / Glutamic acid + glutamine	1,86±0,74	1,59±0,64	0,47±0,19	0,45±0,18	0,40±0,16
Триптофан / Tryptophan	0,40±0,16	0,36±0,14	0,25±0,10	0,14±0,06	0,10±0,04
Сумма / Total	8,08	7,54	8,95	8,60	8,27



Т а б л и ц а 3

T a b l e 3

**Изменение аминокислотного состава зернового вороха многолетней озимой пшеницы (трититригия) сорта «памяти Любимовой» в процессе созревания**

**Changes in the amino acid composition of the grain heap of perennial winter wheat (trititrigia) of the variety Pamyati Lyubimovoy during the ripening process**

Наименование аминокислоты, % / Name of the amino acid, %	Фаза роста по шкале ВВСН / BVCH growth phase				
	77	83	87	89	92
Аргинин / Arginine	0,79±0,32	0,85±0,34	0,88±0,35	0,93±0,37	0,91±0,36
Лизин / Lysine	0,45±0,15	0,53±0,18	0,57±0,19	0,52±0,18	0,48±0,16
Тирозин / Tyrosine	0,38±0,11	0,45±0,14	0,55±0,17	0,49±0,15	0,47±0,14
Фенилаланин / Phenylalanine	0,50±0,15	0,57±0,17	0,65±0,35	0,60±0,18	0,55±0,17
Гистидин / Histidine	0,46±0,23	0,53±0,27	0,57±0,29	0,60±0,30	0,62±0,31
Лейцин + изолейцин / Leucine + isoleucine	1,05±0,27	1,21±0,31	1,30±0,34	1,35±0,35	1,35±0,35
Метионин / Methionine	0,19±0,06	0,25±0,09	0,36±0,12	0,30±0,10	0,25±0,09
Валин / Valin	0,73±0,29	0,87±0,35	0,89±0,36	0,95±0,38	0,99±0,40
Пролин / Proline	1,22±0,32	1,35±0,35	1,44±0,37	1,49±0,39	0,54±0,14
Треонин / Threonine	0,37±0,15	0,45±0,18	0,51±0,20	0,54±0,22	0,55±0,22
Серин / Serin	0,63±0,16	0,67±0,17	0,72±0,19	0,69±0,18	0,65±0,17
Аланин / Alanin	0,47±0,12	0,57±0,15	0,65±0,17	0,60±0,16	0,57±0,15
Глицин / Glycine	0,49±0,17	0,59±0,20	0,73±0,25	0,69±0,23	0,64±0,22
Цистин / Cystine	0,35±0,18	0,48±0,24	0,56±0,28	0,52±0,26	0,44±0,22
Аспарагиновая кислота + аспарагин / Aspartic acid + asparagine	0,68±0,27	0,77±0,31	0,85±0,34	0,79±0,32	0,74±0,30
Глутаминовая кислота + глутамин / Glutamic acid + glutamine	1,99±0,80	1,65±0,66	0,97±0,39	0,74±0,30	0,72±0,29
Триптофан / Tryptophan	0,55±0,22	0,49±0,20	0,43±0,17	0,29±0,12	0,24±0,10
Сумма / Total	11,3	12,28	12,63	12,09	10,71

Т а б л и ц а 4

T a b l e 4

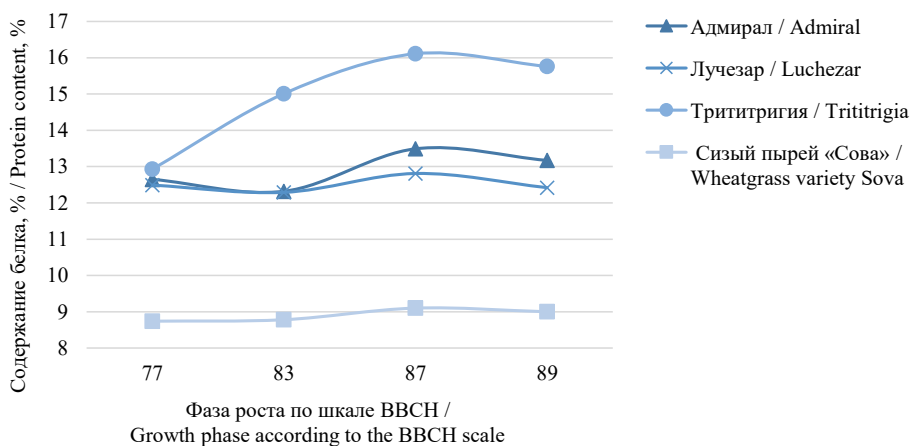
**Изменение аминокислотного состава зернового вороха пырея сизого сорта «сова» в процессе созревания**

**Change in the amino acid composition of the grain heap of gray wheatgrass of the variety Sovo during the ripening process**

Наименование аминокислоты, % / Name of the amino acid, %	Фаза роста по шкале ВВСН / BVCH growth phase				
	77	83	87	89	92
1	2	3	4	5	6
Аргинин / Arginine	0,25±0,10	0,31±0,12	0,39±0,16	0,43±0,17	0,44±0,18
Лизин / Lysine	0,15±0,05	0,19±0,06	0,26±0,09	0,22±0,07	0,20±0,07
Тирозин / Tyrosine	0,16±0,05	0,19±0,06	0,25±0,08	0,24±0,07	0,21±0,06

Окончание табл. 4 / End of table 4

1	2	3	4	5	6
Фенилаланин / Phenylalanine	0,25±0,08	0,29±0,09	0,36±0,11	0,32±0,10	0,29±0,096
Гистидин / Histidine	0,20±0,10	0,25±0,13	0,38±0,19	0,43±0,22	0,48±0,24
Лейцин + изолейцин / Leucine + isoleucine	0,68±0,18	0,75±0,20	0,84±0,22	0,90±0,23	0,95±0,25
Метионин / Methionine	0,12±0,04	0,18±0,06	0,23±0,08	0,20±0,07	0,20±0,07
Валин / Valin	0,31±0,12	0,28±0,11	0,35±0,14	0,42±0,17	0,47±0,19
Пролин / Proline	0,78±0,20	0,60±0,16	0,89±0,23	0,93±0,24	0,95±0,25
Треонин / Threonine	0,21±0,08	0,19±0,08	0,34±0,14	0,29±0,12	0,33±0,13
Серин / Serin	0,32±0,08	0,28±0,07	0,42±0,11	0,39±0,10	0,36±0,09
Аланин / Alanin	0,29±0,08	0,25±0,07	0,37±0,10	0,35±0,09	0,35±0,09
Глицин / Glycine	0,25±0,09	0,32±0,11	0,42±0,14	0,39±0,13	0,34±0,12
Цистин / Cystine	0,21±0,11	0,18±0,09	0,25±0,13	0,20±0,10	0,17±0,09
Аспарагиновая кислота + аспарагин / Aspartic acid + asparagine	0,35±0,14	0,32±0,13	0,29±0,12	0,20±0,08	0,21±0,08
Глутаминовая кислота + глутамин / Glutamic acid + glutamine	1,24±0,50	1,04±0,42	0,47±0,19	0,33±0,13	0,30±0,12
Триптофан / Tryptophan	0,24±0,10	0,21±0,08	0,18±0,07	0,10±0,04	0,09±0,04
Сумма / Total	6,01	5,83	6,69	6,34	6,34



Р и с. 4. Изменение содержания массовой доли белка зерновых колосовых культур в процессе созревания

Fig. 4. Changes in the content of the mass fraction of protein of grain crops during the ripening process

Результаты анализа аминокислотного состава и массовой доли белка четырех образцов зернового вороха пшеницы показали максимальное их содержание в фазе твердой восковой спелости (87 по шкале BBCH). За исключением аргинина, гистидина, лейцина и изолейцина, валина, пролина и треонина. Наиболее высокое содержание аминокислот и белка наблюдается в зерновом ворохе многолетней озимой пшеницы (трититригия) сорта «памяти Любимовой».

### Обсуждение и заключение

В заключение можно отметить, что при значении шкалы ВВСН 87 (твердая восковая спелость) накапливалось наибольшее количество незаменимых аминокислот. Несмотря на то, что такие аминокислоты как аргинин, гистидин, лейцин и изолейцин, валин, пролин и треонин имеют максимальное содержание в зерне в фазе полной спелости, суммарное количество исследуемых протеиногенных аминокислот выше в фазу твердой восковой спелости в среднем на 5 %. Кроме того, суммарное количество аминокислот у всех исследуемых культур уменьшается после наступления полной спелости. Таким образом, разница между стадией твердой восковой спелости (87) и стадией перезрелости (перестой на корню – 92) составляет от 5 до 15 %.

Массовая доля белка в зерновых колосовых культурах выше в стадии твердой восковой спелости (87) в среднем на 10 %.

У сизого пырея сорта «сова» в меньшей степени наблюдается изменение аминокислотного состава после наступления полной спелости. Предположительно, это связано с особенностями культуры, в процессе созревания которой некоторые аминокислоты переходят в зеленую незерновую часть, и аминокислотный состав незначительно изменяется. В других исследуемых культурах (многолетней озимой пшенице (трититригия) сорта «памяти Любимовой» и озимой пшенице сортов «адмирал» и «лучезар») наблюдается «стекание» аминокислот и белка после наступления полной спелости.

Таким образом, зерновые колосовые культуры, убранные в стадии твердой восковой спелости (87) могут быть использованы как сырье для производства кормовой добавки повышенной питательной ценности. Это позволит использовать доступное недорогое сырье и уменьшить содержание дорогостоящей рыбной муки, которая в большинстве случаев является импортной. Также уборка зерновых колосовых культур в фазу твердой восковой спелости позволит сократить количество дней уборки после наступления полной спелости, тем самым минимизировав потери от самоосыпания в результате перестоя на корню, что будет способствовать системному развитию кормовой и сырьевой базы.

Зерновые колосовые культуры ранних фаз спелости можно использовать в пищевой промышленности, например, в качестве добавки в хлебобулочные изделия [27]. Поскольку зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости имеет высокое содержание клетчатки, он может быть использован как субстрат для выращивания пробиотических бактерий и получения кормовых и пищевых добавок [28].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колмаков В. И., Колмакова А. А. Аминокислоты в перспективных кормах для аквакультуры рыб: обзор экспериментальных данных // Журнал СФУ. Биология. 2020. Т. 13, № 4. С. 424–442. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0332>
2. Динамика накопления сухого вещества и изменение химического состава зерна при созревании / Д. В. Сандрыкин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 12. С. 32–33. EDN: OKKJAV
3. Особенности технологии производства корма из зернового вороха при ранней и сверхранней уборке / В. И. Пахомов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2021. № 1. С. 16–19. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-1-16-19>

4. Динамика физических и биохимических свойств в процессе созревания зерна озимой триitikале в условиях ЦРНЗ (×TRITICOSECALE WITTM.) / Ю. Н. Котенко [и др.] // Известия ТСХА. 2020. № 3. С. 42–55. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-42-55>
5. Беренштейн И. Б., Шабанов Н. П. Ресурсосберегающие технологии уборки зерновых (колосовых) культур // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2017. № 10 (173). С. 62–73. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/resursosberegayuschie-tehnologii-uborki-zernovyh-kolosovyh-kultur/viewer> (дата обращения: 20.06.2023).
6. Green Grain of Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) Harvested at the Stage of Milk-Dough as a Rich Source of Valuable Nutrients / P. Kraska [et al.] // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2019. Vol. 31, Issue 4. Pp. 263–270. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i4.1931>
7. Distinguishing Ripe Spelt from Processed Green Spelt (Grünkern) Grains: Methodological Aspects and the Case of Early La Tène Hochdorf (Vaihingen a.d. Enz, Germany) / M. Berihuete Azorín [et al.] // Journal of Archaeological Science. 2020. Vol. 118. Article no. 105143. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105143>
8. Analysis of the Micronization Process Effect on the Amino Acid Composition in Compound Feed / D. Rudoy [et al.] // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 210. Article no. 06012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021006012>
9. Changes in the Functional Constituents and Phytic Acid Contents of Firiks Produced from Wheats at Different Maturation Stages / B. Özkaya [et al.] // Food Chemistry. 2018. Vol. 246. Pp. 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.022>
10. Wollmer A. C., Pitann B., Mühlhng K. H. Grain Storage Protein Concentration and Composition of Winter Wheat (*Triticum Aestivum* L.) as Affected by Waterlogging Events During Stem Elongation or Ear Emergence // Journal of Cereal Science. 2018. Vol. 83. Pp. 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.007>
11. The Phenological Growth Stages of Different Amaranth Species Grown in Restricted Spaces Based in BBCH Code / M. Martínez-Núñez [et al.] // South African Journal of Botany. 2019. Vol. 124. Pp. 436–443. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.035>
12. Brandán J. P., Curti R. N., Acreche M. M. Phenological Growth Stages in Chia (*Salvia Hispanica* L.) According to the BBCH Scale // Scientia Horticulturae 2019. Vol. 255. Pp. 292–297. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.043>
13. Phenological Growth Stages of Mango (*Mangifera Indica* L.) According to the BBCH scale / P. M. Hernández Delgado [et al.] // Scientia Horticulturae. 2011. Vol. 130, Issue 3. Pp. 536–540. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.027>
14. Dynamic Quantitative Trait Loci (QTL) for Plant Height Predict Biomass Yield in Hybrid Rye (*Secale Cereale* L.) / T. Miedaner [et al.] // Biomass and Bioenergy. 2018. Vol. 115. Pp. 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.001>
15. Finite Element and Applied Models of the Stem with Spike Deformation / B. Meskhi [et al.] // Agriculture. 2021. Vol. 11, Issue 11. Article no. 1147. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111147>
16. Review and Analysis of Perennial Cereal Crops at Different Maturity Stages / D. Rudoy [et al.] // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937. Article no. 022111. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/2/022111>
17. Коновалова Н. Ю., Коновалова С. С. Влияние сроков уборки зерновых культур на продуктивность и качество полученного зернофуража в условиях Европейского Севера России // Молочно-хозяйственный вестник. 2018. № 1 (29). С. 46–56. <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2018-00005>
18. Изменение химического состава и питательности кукурузы в заключительные периоды развития / Е. Ю. Герасимов [и др.] // Вестник НГИЭИ. 2013. № 4 (23). С. 32–39. URL: <http://vestnik.ngiei.ru/wp-content/uploads/2014/12/Герасимов-Е.-Ю.-Дёмина-М.-А.-Завиваев-С.-Н.-Кучин-Н.-Н..pdf> (дата обращения: 20.06.2023).
19. Анализ способов консервации зерна пшеницы на ранних стадиях спелости / Д. В. Рудой [и др.] // Сборник научных трудов IX Междунар. науч.-практич. конф. «Инновационные технологии в науке и образовании». 2021. С. 131–137. <https://doi.org/10.23947/itno.2021.131-137>

20. Сроки и техническая оснащенность уборочного процесса в технологии производства плющеного кормового зерна / М. М. Константинов [и др.] // Известия ОГАУ. 2012. № 6 (38). С. 68–70. URL: <https://clck.ru/376uww> (дата обращения: 20.06.2023).
21. Налив зерна яровой мягкой пшеницы у сортов различной скороспелости / Ю. А. Гладков [и др.] // Вестник АГАУ. 2006. № 4. С. 14–19. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naliv-zerna-yarovoymyagkoym-pshenitsy-u-sortov-razlichnoy-skorospelosti> (дата обращения: 20.06.2023).
22. Ferrise R., Bindi M., Martre P. Grain Filling Duration and Glutenin Polymerization under Variable Nitrogen Supply and Environmental Conditions for Durum Wheat // Field Crops Research. 2015. Vol. 171. Pp. 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.016>
23. Occurrence of Rice Preharvest Sprouting Varies Greatly Depending on Past Weather Conditions During Grain Filling / H. Lee [et al.] // Field Crops Research. 2021. Vol. 264. Article no. 108087. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108087>
24. Polymerisation of Gluten Proteins in Developing Wheat Grain as Affected by Desiccation / S. Koga [et al.] // Journal of Cereal Science. 2017. Vol. 73. Pp. 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.12.003>
25. Применение метода очеса в технологии уборки многолетних зерновых колосовых культур ранних фаз спелости / Д. В. Рудой [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). 2022. № 6 (180). С. 80–91. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-180-013>
26. Агрегат для уборки урожая : патент 206314 Российская Федерация / Лачуга Ю. Ф. [и др.]. № 2021116396 ; заявл. 07.06.2021 ; опубл. 06.09.2021. 7 с.
27. Scientific Aspects of the Study of the Protein Carbohydrate Raw Materials Biomodification Process in the Production of Functional Food Products / L. Enalyeva [et al.] // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 210. Article no. 03004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021003004>
28. Complex Bioactive Supplements for Aquaculture-Evolutionary Development of Probiotic Concepts / N. A. Ushakova [et al.] // Probiotics and Antimicrobial Proteins. 2021. Vol. 13, Issue 4. Pp. 1696–1708. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09835-y>

*Поступила в редакцию 01.06.2023; поступила после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 22.09.2023*

*Об авторах:*

**Лачуга Юрий Федорович**, доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук (119991, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, д. 14), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5474-859X>, Researcher ID: IQV-1037-2023, [akadema1907@mail.ru](mailto:akadema1907@mail.ru)

**Мехси Бесарион Чохоевич**, доктор технических наук, профессор, ректор Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9347-3410>, Researcher ID: AAM-2853-2021, [reception@donstu.ru](mailto:reception@donstu.ru)

**Пахомов Виктор Иванович**, доктор технических наук, член-корреспондент Российской академии наук, директор Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), заведующий кафедрой «Технологии и оборудование переработки продукции АПК» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, Researcher ID: Y-7085-2019, [v.i.pakhomov@mail.ru](mailto:v.i.pakhomov@mail.ru)

**Рудой Дмитрий Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, декан факультета «Агропромышленный», ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Центр Агробиотехнологии» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), старший научный сотрудник отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>, Researcher ID: AAU-5381-2020, [rudoy.d@gs.donstu.ru](mailto:rudoy.d@gs.donstu.ru)

**Камбулов Сергей Иванович**, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3), профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, kambulov.s@mail.ru

**Мальцева Татьяна Александровна**, кандидат технических наук, научный сотрудник Центра развития территориального кластера «Долина Дона», доцент кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции АПК» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3973-6846>, Researcher ID: ABB-4622-2020, tamaltseva.donstu@gmail.com

*Заявленный вклад авторов:*

Ю. Ф. Лачуга – формулирование основной концепции исследования и анализ результатов.

Б. Ч. Месхи – составление плана статьи и ее написание.

В. И. Пахомов – общее руководство, постановка задач исследования.

Д. В. Рудой – экспериментальные исследования.

С. И. Камбулов – экспериментальные исследования.

Т. А. Мальцева – подготовка текста, анализ литературных данных.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Kolmakov V.I., Kolmakova A.A. Amino Acids in Promising Feeds for Fish Aquaculture: a Review of Experimental Data. *Journal of SIBFU. Biology*. 2020;13(4):424–442. (In Russ.) <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0332>
2. Sandrykin D.V., Kondratenko E.P., Egushova E.A., Pinchuk L.G. Dynamics of Accumulation of Dry Matter and Changes in the Chemical Composition of Grain during Maturation. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2011;12. (In Russ.) EDN: OKKJAV
3. Pakhomov V.I., Braginets S.V., Bakhchevnikov O.N., Rudoy D.V. Features of the Technology of Feed Production From Grain Heaps During Early and Late Harvesting. *Machinery and Equipment for the Village*. 2021;(1):16–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-1-16-19>
4. Kotenko Yu.N., Yurkina A.I., Rubets V.S., Pylnev V.V., Kanaan M.D. Dynamics of Physical and Biochemical Properties in the Process of Maturation of Winter Triticale Grain Under Conditions of CRNZ (×TRITICOSE-CALE WITTM.). *Izvestiya TLCA*. 2020;(3):42–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-42-55>
5. Berenshtein I.B., Shabanov N.P. Resource-Saving Technologies of Harvesting Grain (Ear) Crops. *Izvestia of Agricultural Science of Taurida*. 2017;10(173):62–73. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/resursosbergayuschie-tehnologii-uborki-zernovyh-kolosovyh-kultur/viewer> (accessed 20.06.2023). (In Russ.)
6. Kraska P., Andruszczak S., Dziki D., Stocki M., Stocka N., Kwecińska-Poppe E., et al. Green Grain of Spelt (Triticum Aestivum Ssp. Spelta) Harvested at the Stage of Milk-Dough as a Rich Source of Valuable Nutrients. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 2019;31(4):263–270. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i4.1931>
7. Berihuete-Azorín M., Stika H.P., Hallama M., Valamoti S.M. Distinguishing Ripe Spelt From Processed Green Spelt (Grünkern) Grains: Methodological Aspects and the Case of Early La Tène Hochdorf (Vaihingen a.d. Enz, Germany). *Journal of Archaeological Science*. 2020;118:105143. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105143>
8. Pakhomov V., Rudoy, D., Maltseva T., Kulikova N., Ugrehelidze N., Enalyeva L., et al. Analysis of the Micronization Process Effect on the Amino Acid Composition in Compound Feed. *E3S Web of Conferences*. 2020;210:07003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021006012>



9. Özkaya B., Turksoy S., Özkaya H., Baumgartner B., Özkeser İ., Köksel H. Changes in the Functional Constituents and Phytic Acid Contents of Firikis Produced From Wheats at Different Maturation Stages. *Food Chemistry*. 2018;246:150–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.022>
10. Wollmer A.C., Pitann B., Mühling K.H. Grain Storage Protein Concentration and Composition of Winter Wheat (*Triticum Aestivum* L.) as Affected by Waterlogging Events During Stem Elongation or Ear Emergence. *Journal of Cereal Science*. 2018;83:9–15. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.007>
11. Martínez-Núñez M., Ruiz-Rivas M., Vera-Hernández P.F., Bernal-Muñoz R., Luna-Suárez S., Rosas-Cárdenas F.F. The Phenological Growth Stages of Different Amaranth Species Grown in Restricted Spaces Based in BBCH Code. *South African Journal of Botany*. 2019;124:436–443. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.035>
12. Brandán J.P., Curti R.N., Acreche M.M. Phenological Growth Stages in Chia (*Salvia hispanica* L.) According to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*. 2019;255:292–297. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.043>
13. Hernández Delgado P.M., Aranguren M., Reig C., Galván D. F., Mesejo C., Fuentes A.M., et al. Phenological Growth Stages of Mango (*Mangifera indica* L.) According to the BBCH Scale. *Scientia Horticulturae*. 2011;130(3):536–540. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.027>
14. Miedaner T., Haffke S., Siekmann D., Fromme F.J., Roux S.R., Hackauf B. Dynamic quantitative trait loci (QTL) for plant height predict biomass yield in hybrid rye (*Secale cereale* L.). *Biomass and Bioenergy*. 2018;115:10–18. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.04.001>
15. Meskhi B., Rudoy D., Lachuga Y., Pakhomov V., Soloviev A., Matrossov A., et al. Finite Element and Applied Models of the Stem with Spike Deformation. *Agriculture*. 2021;11(11):1147. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111147>
16. Rudoy D., Pakhomov V., Olshevskaya A., Maltseva T., Ugrekhelidze N., Zhuravleva A., et al. Review and Analysis of Perennial Cereal Crops at Different Maturity Stages. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021;937:022111. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/2/022111>
17. Konovalova N.Yu., Konovalova S.S. The Influence of Grain Harvesting Terms on the Productivity and Quality of the Resulting Grain Fodder in the Conditions of the European North of Russia. *Dairy Bulletin*. 2018;(1). (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2225-4269-2018-00005>
18. Gerasimov E.Yu., Demina M.A., Zavivaev S.N., Kuchin N.N. Changes in the Chemical Composition and Nutritional Value of Corn in the Final Periods of Development. *Bulletin of the NGIEI*. 2013;(4). (In Russ.) Available at: <http://vestnik.ngiei.ru/wp-content/uploads/2014/12/Герасимов-Е.-Ю.-Дёмина-М.-А.-Завиваев-С.-Н.-Кучин-Н.-Н..pdf> (accessed 20.06.2023).
19. Rudoy D.V., Pakhomov V.I., Sarkisyan D.S. Analysis of Methods for Preserving Wheat Grain at the Early Stages of Ripeness. *Collection of Scientific Papers of the 9th International Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies in Science and Education"*. 2021;131–137. (In Russ.) <https://doi.org/10.23947/itno.2021.131-137>
20. Konstantinov M.M., Lovchikov A.P., Lovchikov V.P., Korytko A.A. Terms and Technical Equipment of the Harvesting Process in the Technology of Production of Flattened Feed Grain. *Izvestiya OGAU*. 2012;(6). (In Russ.) Available at: <https://clck.ru/376uww> (accessed 20.06.2023).
21. Gladkov Yu.A., Evtefeev Yu.V., Kobzeva L.V., Bartaya N.N. Pouring Grain of Spring Soft Wheat in Varieties of Different Precocity. *Bulletin of the ASAU*. 2006;(4):14–19. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/naliv-zerna-yarovoy-myagkoy-pshenitsy-u-sortov-razlichnoy-skorospelosti> (In Russ.) (accessed 20.06.2023).
22. Ferrise R., Bindi M., Martre P. Grain Filling Duration and Glutenin Polymerization Under Variable Nitrogen Supply and Environmental Conditions for Durum Wheat. *Field Crops Research*. 2015;171:23–31. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.10.016>
23. Lee H., Choi M., Hwang W., Jeong J., Yang S., Lee C. Occurrence of Rice Preharvest Sprouting Varies Greatly Depending on Past Weather Conditions During Grain Filling. *Field Crops Research*. 2021;264:108087. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108087>
24. Koga S., Böcker U., Wieser H., Koehler P., Uhlen A.K., Moldestad A. Polymerisation of Gluten Proteins in Developing Wheat Grain as Affected by Desiccation. *Journal of Cereal Science*. 2017;73:122–129. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.12.003>

25. Rudoy D.V., Pakhomov V.I., Kambulov S.I., Olshevskaya A.V., Zolotov S.A., Maltseva T.A. Application of Combing Method in the Technology of Perennial Grain Crops Harvesting in the Early Maturity Phases. *Polythematic Network Electronic Scientific Journal of Kuban State Agrarian University (Scientific Journal of KubGAU)*. 2022;(6):214–224. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-180-013>

26. Lachuga Yu.F., Meskhi B.Ch., Pakhomov V.I., Rudoy D.V. [Harvesting Unit]. Patent 206314 Russian Federation. 2021. 7 p.

27. Enalyeva L., Rudoy D., Alekseyev A., Tupolskih T., Lodyanov V. Scientific Aspects of the Study of the Protein Carbohydrate Raw Materials Biomodification Process in the Production of Functional Food Products. *E3S Web of Conferences*. 2020;210:03004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021003004>

28. Ushakova N.A., Pravdin V.G., Kravtsova L.Z., Ponomarev S.V., Gridina T.S., Ponomareva E.N., et al. Complex Bioactive Supplements for Aquaculture-Evolutionary Development of Probiotic Concepts. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*. 2021;13(4):1696–1708. <https://doi.org/10.1007/s12602-021-09835-y>

*Submitted 01.06.2023; revised 15.09.2023; accepted 22.09.2023*

*About the authors:*

**Yuriy F. Lachuga**, Dr.Sci. (Engr.), Professor, Academician, Russian Academy of Sciences (14 Leninskiy Prospekt, Moscow 119991, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5474-859X>, Researcher ID: IQV-1037-2023, [akadema1907@mail.ru](mailto:akadema1907@mail.ru)

**Besarion Ch. Meskhi**, Dr.Sci. (Engr.), Professor, Rector of Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9347-3410>, Researcher ID: AAM-2853-2021, [reception@donstu.ru](mailto:reception@donstu.ru)

**Viktor I. Pakhomov**, Dr.Sci. (Engr.), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of Agrarian Research Center Donskoy (3 Nauchnyy Gorodok St., Zernograd 347740, Russian Federation), Head of the Department Technologies and equipment for processing agricultural products, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, Researcher ID: Y-7085-2019, [v.i.pakhomov@mail.ru](mailto:v.i.pakhomov@mail.ru)

**Dmitriy V. Rudoy**, Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor, Dean of Agribusiness Faculty, Leading researcher at the Research Laboratory Agrobiotechnology Center, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), Senior Researcher at the Department of Mechanization of Crop Production, Agricultural Research Center Donskoy (3 Nauchny Gorodok St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>, Researcher ID: AAU-5381-2020, [rudoy.d@gs.donstu.ru](mailto:rudoy.d@gs.donstu.ru)

**Sergey I. Kambulov**, Dr.Sci. (Engr.), Associate Professor, Chief Researcher of the Department of Mechanization of Crop Production, Agricultural Research Center Donskoy (3 Nauchny Gorodok St., Zernograd 347740, Russian Federation), professor of the department Technologies and Equipment for Agricultural Products Processing, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, [kambulov.s@mail.ru](mailto:kambulov.s@mail.ru)

**Tatyana A. Maltseva**, Cand.Sci. (Engr.), Research of the Center of Development of the Territorial Cluster Dolina Dona, Assistant professor of the department Technologies and Equipment for Agricultural Products Processing, Don State Technical University (1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3973-6846>, Researcher ID: ABB-4622-2020, [tamaltseva.donstu@gmail.com](mailto:tamaltseva.donstu@gmail.com)

*Authors contribution:*

Yu. F. Lachuga – formulating the basic concept of the study and analyzing the results.

B. Ch. Meskhi – drawing up the outline of the article and its writing.

V. I. Pakhomov – general guidance, formulation of research objectives.

D. V. Rudoy – experimental research.

S. I. Kambulov – experimental research.

T. A. Maltseva – text writing, analyzing literary data.

*All authors have read and approved the final manuscript.*