

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСТРУЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ПШЕНИЦЫ РАННИХ ФАЗ СПЕЛОСТИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

В. И. Пахомов¹, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», v.i.pakhomov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

Д. В. Рудой¹, профессор РАН, доктор технических наук, декан факультета «Агропромышленный», rudoy.d@gs.donstu.ru, ORCID ID: 0000-0002-1916-8570;

Т. А. Мальцева¹, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии пищевых производств», tamaltseva.donstu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3973-6846;

Е. Н. Косолапова¹, ассистент кафедры «Техника и технологии пищевых производств», 1, rewarewarewak@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4010-925X.

¹ *Донской государственный технический университет, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.*

Процесс экструдирования является важнейшим процессом при переработке сырья растительного происхождения в высокоценные корма. В процессе экструдирования повышается усвояемость белка, улучшаются органолептические свойства и происходит обеззараживание сырья. Однако, высокие температуры могут негативно сказываться на количестве белка и протеиногенных аминокислот. Цель исследований – изучение влияния процесса экструдирования на кормовую ценность зернового вороха пшеницы, убранной в ранних фазах спелости. Установлено, что экструзионная обработка приводит к незначительному снижению массовой доли сырого протеина (с 14,86% до 13,00%, т.е. на 1,86%). Анализ содержания аминокислот в исследуемых пробах выявил различную степень их термостабильности: наибольшие потери зафиксированы для фенилаланина (43,7%), гистидина (58,9%) и пролина (48,4%), тогда как содержание треонина, серина и лизина изменилось несущественно (потери лизина составили всего 6,11%). Несмотря на снижение абсолютного содержания белка, его усвояемость *in vitro* увеличилась с 58,7% до 74,9%, что на 16,2% выше исходных значений. Полученные данные согласуются с результатами международных исследований по экструдированию растительного сырья. Также отмечено улучшение физико-механических свойств экструдата: он приобретает более хрупкую структуру, что облегчает последующее измельчение и повышает однородность гранулометрического состава за счет частичной деструкции клетчатки. Применение экструдированного зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости в рационах сельскохозяйственных животных позволяет повысить биодоступность питательных веществ (на 16,2%), что способствует увеличению продуктивности животных и снижению себестоимости кормов.

Ключевые слова: зерновой ворох пшеницы, зеленая пшеница, пшеница ранних фаз спелости, растительное сырье, экструдирование, аминокислотный состав, содержание белка, качество зерна, корм.

Для цитирования: Пахомов В.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А., Косолапова Е.Н. Исследование влияния термической обработки зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости на показатели качества // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, № 2. С. 85–90. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-103-2-85-90



THE STUDY OF EXTRUSIVE PROCESSING EFFECT OF GRAIN HEAP OF WHEAT OF EARLY MATURITY STAGES ON QUALITY INDICATORS

V.I. Pakhomov¹, Corresponding Member of RAS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department “Technologies and equipment for processing products of “Agricultural Products”, v.i.pakhomov@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-8715-0655;

D.V. Rudoy¹, Professor of RAS, Doctor of Technical Sciences, Dean of the Agribusiness faculty, rudoy.d@gs.donstu.ru, ORCID ID: 0000-0002-1916-8570;

T.A. Maltseva¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department “Food production equipment and technologies”, tamaltseva.donstu@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-3973-6846;

E.N. Kosolapova¹, Assistant of the Department “Food production equipment and technologies”, rewarewarewak@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-4010-925X.

¹ *FSBEI HE “Don State Technical University” 344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1.*

Extrusion is a critical process in the processing of plant-based raw materials into high-value feed. Extrusion increases protein digestibility, improves organoleptic properties, and disinfects the raw material. However, high temperatures can

negatively impact the amount of protein and proteinogenic amino acids. The purpose of the current work was to study the effect of extrusion on the nutritional value of wheat grain harvested at the early stages of maturity. There has been found that extrusion processing resulted in a slight decrease in crude protein percentage (from 14.86% to 13.00%, i.e. by 1.86%). The analysis of the amino acid content in the studied samples has identified varying degrees of their thermal stability with the greatest losses of phenylalanine (43.7%), histidine (58.9%) and proline (48.4%), but an insignificant change of threonine, serine, and lysine (lysine losses were 6.11%). Despite the decrease in absolute protein content, its *in vitro* digestibility increased from 58.7% to 74.9%, which is by 16.2% more than the basic values. These data are consistent with the results of international study on plant material's extrusion. There has been also established an improvement in the physical and mechanical properties of the extrudate, since it acquires a more brittle structure, which facilitates subsequent grinding and improves the homogeneity of the granulometric composition due to the partial destruction of fiber. The use of extruded grain heap of wheat of early maturity stages in the diets of farm animals allows increasing bioavailability of nutrients (by 16.2%), which contributes to an increase in animal productivity and a reduction in feed costs.

Keywords: wheat grain heap, green wheat, wheat of early maturity stages, plant material, extrusion, amino acid composition, protein percentage, grain quality, feed.

Введение. Пшеница является одним из основных видов сырья комбикормовой промышленности. В различных рецептурах ее содержание может достигать до 65% в зависимости от вида, возраста и содержания животного (Базылев и др., 2012; Акулов и др., 2021; Мухрамова и др., 2022; Пономарев и др., 2022). Например, для птиц содержание пшеницы варьируется в среднем от 20 до 65%, для КРС – до 20-30%, для рыб – до 26%. Для производства комбикормов используют, как правило, фуражное зерно, непригодное для пищевых целей. Такое зерно имеет низкое качество, в том числе невысокое содержание белка. Доказано, что на ранних стадиях спелости (молочно-восковая и восковая спелость) зерно пшеницы имеет более высокое содержание белка, в связи с чем целесообразно использовать именно такое зерно (Meskhi et al., 2025). Дополнительным источником растительного белка может служить незерновая часть – солома, которая содержит до 5% белка и 2% жира. До недавнего времени не представлялось возможным механизировано убирать зерно в стадии молочно-восковой спелости, поскольку существующие комбайны способны убирать зерно только при наступлении полной спелости и при кондиционной влажности. Для получения высокоценного кормового сырья был разработан агрегат для уборки зерна методом очеса на корню – патент на полезную модель RU 233080 U1 (Месхи и др., 2025). Он позволяет получать зерновой ворох пшеницы, состоящий из зерна и соломы, а также незначительного количества стеблей и листьев пшеницы.

Зерно пшеницы ранних фаз спелости, несмотря на положительные свойства, как и другое растительное сырье имеет низкую усвояемость. Особенно, его незерновая часть, где содержится большое количество клетчатки. Для повышения усвояемости сырья растительного происхождения подвергают процессу экструдирования – высокотемпературной обработке, при которой происходит повышение питательной ценности, обеззараживание и повышение сроков хранения. Экструдированный корм положительно сказывается на организме животного: увеличивается синтез белка из корма в мышцы, увеличивая прирост массы (продуктивность) животного (Слезко и др., 2021; Антимонов и др., 2023); снижается себестоимость получаемой продукции (мяса, молока) за счет повышения усвояемости кормов (Великанов и др., 2025). Однако, высокие температуры могут негативно сказываться на содержании белка и аминокислот. Целью данной работы является исследование

влияния процесса экструдирования зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости на содержание белка, аминокислот и усвояемость.

Материалы и методы исследований. Для исследования был взят образец зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости, убранного в июле 2025 года новым агрегатом для уборки зерна методом очеса на корню - RU 233080 U1 (Месхи и др., 2025). Убранный ворох был высушен при естественных условиях и измельчен.

Для экструдирования зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости использовали экструдер ИНЭК-110. Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости перед экструдированием увлажняли до 25% путем простого распыления воды и перемешивания. Количество воды V , кг, необходимой для увлажнения зернового вороха, определяли по формуле (1):

$$V = m \cdot \frac{w_2 - w_1}{100 - w_2} \quad (1)$$

где m – масса зернового вороха для увлажнения, кг; w_1 – исходная массовая доля влаги зернового вороха, %; w_2 – конечная массовая доля влаги зернового вороха, % (25%).

Температуру экструдирования измеряли за счет расположенной на рабочей камере нагревательной рубашки с датчиком. Информация от датчика поступает на пульт управления экструдером. Для повышения скорости разогрева рабочей камеры перед началом работы экструдера включали рабочую рубашку экструдера и выставляли температуру 145 ± 5 °С. Выбор указанной температуры обусловлен требованиями инструкции к оборудованию и практическим опытом экструдирования растительного сырья с мелкодисперсной структурой на данной модели экструдера, что обеспечивает стабильное протекание технологического процесса.

Полученный экструдат перед анализом измельчали в порошок на лабораторной зерновой мельнице ЛЗМ-М2.

Определение массовой доли сырого протеина в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования проводили методом Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 13496.4-2019. Анализ проводился с помощью установки для определения протеина, состоящей из полуавтоматического дистиллятора UDK 139, скруббера KS 1000 и блочного минерализатора.

Анализ аминокислотного состава исследуемых проб проводили с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель 105-М» по методике,

прилагаемой к прибору - «Методика М 04-38-2009 (изд. 2014 г.)», а также по ГОСТ Р 55569-2013 и ГОСТ 31480-2012.

Массовую долю влаги определяли методом высушивания с помощью сушильного шкафа ШС-80-02 СПУ в соответствии с ГОСТ 13586.5-2015.

Усвояемость определяли по методике, указанной в ГОСТ 24230-80 Корма растительные. Метод

определения переваримости *in vitro*. Для исследования использовали вспомогательное лабораторное оборудование - центрифугу лабораторную UC-4000E и сушильный шкаф ШС-80-02 СПУ.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлен зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования



а



б

Рис.1. Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости до (а) и после (б) экструдирования

Fig. 1. Grain heap of wheat of early maturity stages before (a) and after (b) extrusion

Зерновой ворох пшеницы ранних фаз спелости не потерял свой цвет, что говорит о наличии хлорофилла – важного кормового компонента, обладающего антимикробным и антиоксидантным действием (Нестерук, 2022), способствующего снижению стресса при нахождении животного в критических условиях

(например, при высоких температурах – до 42 °С (Роцин и др., 2024).

В табл. 1 и на рис. 2 представлен аминокислотный состав зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования.

Таблица. 1. Результаты анализа аминокислотного состава зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости до и после экструдирования

Table 1. Results of the analysis of the amino acid composition of the grain heap of wheat of early maturity stages before and after extrusion

Аминокислота	Ворох	Экструдат
Аргинин	0,3212 ± 0,1285	0,2885 ± 0,1154
Лизин	1,1210 ± 0,3811	1,0525 ± 0,3579
Тирозин	0,5883 ± 0,1765	0,4081 ± 0,1224*
Фенилаланин	0,6816 ± 0,2045	0,3838 ± 0,1153*
Гистидин	0,5902 ± 0,2951	0,2427 ± 0,1214*
Лейцин+изолейцин	1,794 ± 0,4664	1,6985 ± 0,4416
Метионин	0,2959 ± 0,1006	0,2556 ± 0,0869
Валин	0,9281 ± 0,3712	0,8896 ± 0,3558*
Пролин	0,7652 ± 0,199	0,3945 ± 0,1026*
Треонин	1,1335 ± 0,4534	1,1240 ± 0,4496
Серин	0,9678 ± 0,2516	0,9555 ± 0,2484
Аланин	0,9760 ± 0,2538	0,8755 ± 0,2276*
Глицин	1,0875 ± 0,3698	0,8246 ± 0,2804*
Общее количество	11,2502	9,3933

* $p < 0.05$

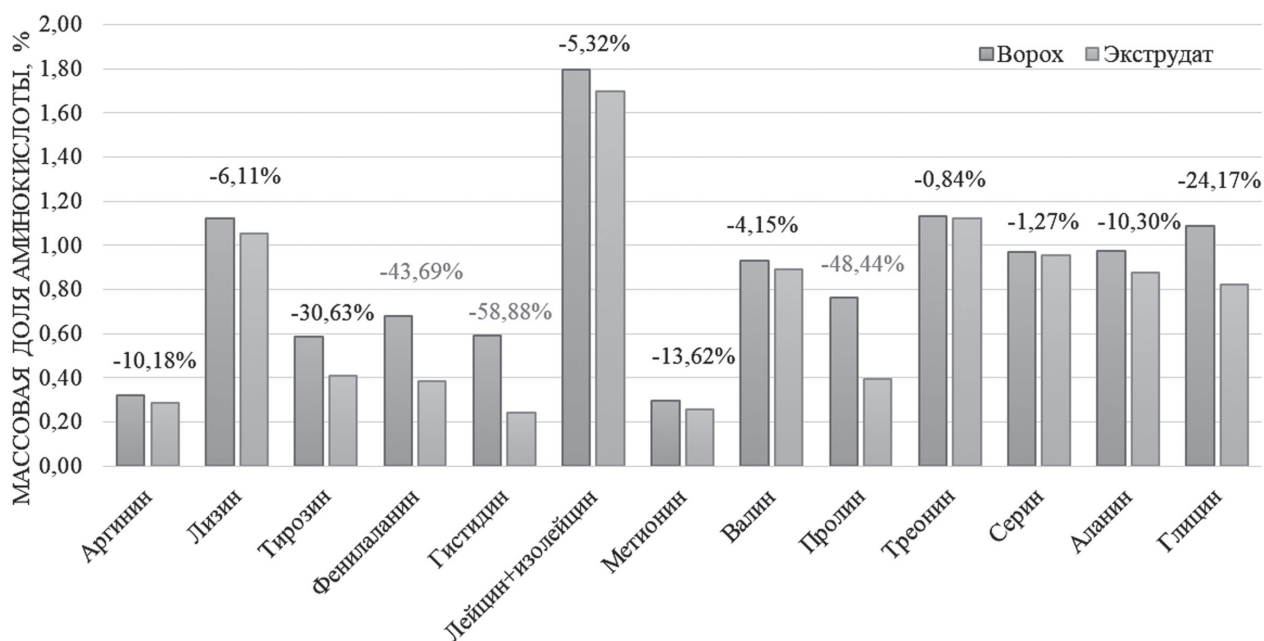


Рис. 2. Результаты изменения аминокислотного состава зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости после процесса экструдирования

Fig. 2. Results of changes in the amino acid composition of the grain heap of wheat of early maturity stages after extrusion

Из графика (рис. 2) видно, что аминокислоты по-разному реагируют на кратковременную (около 5-6 с) термическую обработку, проходящую при температуре 145-150°C. В наибольшей степени снижается содержание 3 аминокислот: фенилаланина (незаменимая аминокислота) – на 43,69%, гистидина (незаменимая аминокислота) – на 58,88% и пролина (условно заменимая аминокислота) – на 48,44%.

Фенилаланин участвует в синтезе гормонов и процессах передачи нервных импульсов – синтезе нейромедиаторов. Гистидин участвует в синтезе белка, кроветворении – является компонентом гемоглобина и также, как и фенилаланин, участвует в процессах передачи нервных импульсов. Пролин, в отличие от двух предыдущих аминокислот, является условно незаменимым и при нормальных условиях синтезируется в организме животного. Однако, в период роста или в критических условиях (травмы, стресс, воспаление), должен поступать с кормом для нормального функционирования организма. Пролин участвует в формировании кожных покровов, обеспечивает стабильность коллагена, способствует быстрому заживлению кожи и укрепляет сосуды. Данные изменения в составе аминокислот зернового

сырья важно учитывать при балансировке кормов.

Полученные данные согласуются с данными (Peřaranda et al., 2025), где изучали изменение аминокислотного состава при экструдировании риса и гороха. Ученые отмечают, что аминокислоты в бобовых культурах в большей степени подвержены разрушению, чем аминокислоты в зерновых культурах. Кроме того, по данным авторов (Peřaranda et al., 2025), одна из наиболее не термостабильных аминокислот – лизин, содержание которой снижается в диапазоне от 12 до 49% в зависимости от условий экструдирования. Однако, в случае экструдирования зернового вороха снижение содержания лизина было незначительным – всего 6,11%. Помимо этого, аминокислотный состав зерновых культур более сбалансированный, чем у бобовых, однако, содержание белка в бобовых в разы больше, чем у зерновых.

Наиболее термоустойчивыми аминокислотами в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости оказались треонин (0,84%), серин (1,27%), валин (4,15%), лейцин+изолейцин (5,32%) и лизин (6,11%).

Результаты изменения массовой доли белка в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости после экструдирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Массовая доля сырого протеина в зерновом ворохе пшеницы ранних фаз спелости дои после экструдирования

Table 2. Mass fraction of crude protein in the grain heap of wheat of early maturity stages before and after extrusion

Наименование пробы	Содержание азота, $X \pm \Delta$, %	Содержание влаги W , %	Коэффициент пересчета на протеин	$r_n \leq r$	Сырой протеин**, % $\pm U$
Ворох пшеницы	2,22 \pm 0,11	6,6	6,25	0,06 < 0,09	14,86 \pm 0,45
Экструдат	1,94 \pm 0,11	6,7	6,25	0,02 < 0,08	13,00 \pm 0,39

**Примечание: Содержание протеина приведено при фактической влажности.

Результаты анализа показывают, что при экструдировании содержание аминокислот и белка в пробе снижается. Содержание белка в экструдате меньше на 1,86%. Не смотря на снижение массовой доли белка, усвояемость после экструдирования увеличилась с 58,7 до 74,9%, т.е. на 16,2%. Это согласуется с данными (Reñaranda et al., 2025), где ученые исследовали изменение усвояемости каждой аминокислоты. В среднем, у рисового (растительного) белка значение усвояемости у заменимых аминокислот увеличилось с 53,3 до 63,4% (на 10,1%), у незаменимых с 43,0 до 68,4 %, т.е. средняя усвояемость протеиногенных аминокислот составила около 17,5%.

Помимо физико-химических показателей экструдата зернового вороха пшеницы, важно отметить физико-механические показатели, а именно способность к разрушению при размолу. Существенное влияние на эффективность измельчения зернового вороха оказывают его морфологические особенности, в частности наличие цветковых пленок (половы). Данный компонент, обладая высокой упругостью и малой толщиной, проявляет низкую восприимчивость к ударному и режущему воздействию рабочих органов измельчителей. При прохождении через сито некоторые частицы, представленные преимущественно пленчатыми фракциями, не достигают требуемых размеров и возвращаются на доизмельчение, что снижает общую эффективность процесса и увеличивает энергозатраты.

Применение экструзионной обработки кормового сырья приводит к существенной трансформации его структуры. Под воздействием высокого давления и температуры происходит частичная деструкция клетчатки (целлюлозно-лигнинного комплекса). Вследствие этого экструдат приобретает более хрупкую и пористую структуру по сравнению с нативным сырьем. Таким образом, последующее измельчение экструдированного продукта характеризуется:

- повышенной степенью дезинтеграции: материал легче поддается разрушению до более мелких фракций;
- гомогенностью гранулометрического состава: выход готового продукта отличается высокой однородностью;

- минимальными потерями при просеивании: снижается доля недоизмельченных частиц (сход с сита), что позволяет получить более качественный продукт с минимумом возврата на повторный цикл.

Выводы. Экструзионная обработка зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости при температуре 145–150 °С приводит к незначительному снижению массовой доли сырого протеина (на 1,86%), что связано с частичной денатурацией и реакциями взаимодействия аминокислот с другими компонентами.

Установлена различная степень термостабильности аминокислот. Наиболее уязвимы гистидин (снижение на 58,9%), пролин (48,4%) и фенилаланин (43,7%). Это необходимо учитывать при балансировании рационов для молодняка и животных в условиях стресса. Термостабильны треонин (потеря 0,84%), серин (1,27%) и лизин (6,11%).

Ключевым положительным эффектом экструдирования является значительное увеличение усвояемости корма *in vitro* – с 58,7% до 74,9%, что на 16,2% выше исходных значений. Прирост усвояемости компенсирует потерю абсолютного количества белка и делает корм биологически более доступным.

Экструдирование способствует частичной деструкции клетчатки, в результате чего экструдат приобретает хрупкую структуру. Это обеспечивает высокую степень измельчения, гомогенность гранулометрического состава и снижение потерь при просеивании (уменьшение схода с сита), повышая технологичность производства комбикормов.

Использование зернового вороха пшеницы ранних фаз спелости в сочетании с экструдированием является перспективным технологическим приемом. Несмотря на небольшие потери белка, итоговая биологическая ценность корма возрастает за счет кратного увеличения усвояемости питательных веществ и инактивации антипитательных факторов, что подтверждает эффективность разработанной технологии для производства высококачественных кормов.

Финансирование. Работа проведена в рамках выполнения проекта «Разработка новой технологии дифференцированной уборки зерновых колосовых культур» (FZNE-2024-0014).

Библиографический список

1. Акулов В. И., Воробьев А. Л., Антюхов В. М., Видов П. О. Оптимизация рецептуры экструдированных комбикормов для крупного рогатого скота // Эффективное животноводство. 2021. №7 (173). С. 42–45. DOI: 10.24412/ci-33489-2021-7-42-45
2. Базылев М. В., Букас В. В., Левкин Е. А. Эффективность производства свинины на промышленной основе за счет интенсификации кормления свиней // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2012. №15 (1). С. 38–44
3. Мухрамова А. А., Асылбекова С. Ж., Сидорова В. И., Самбетбаев А. А., Исбеков К. Б. Стартовый комбикорм для *slaviae gariepinus*, разработанный в Казахстане: рецептура, показатели качества и эффективность в аквакультуре // Сельскохозяйственная биология. 2022. №4 (57). С. 791–802. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.791rus
4. Пономарев С. В., Грозеску Ю. Н., Бахарева А. А. Индустриальное рыбоводство: учебник. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург : Лань, 2022. 448 с. ISBN 978-5-8114-1367-6. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/211118> (дата обращения: 14.01.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей
5. Meskhi B., Pakhomov V., Rudoy D., Maltseva T., Olshevskaya A., Mazanko M. Early maturity wheat as a highly valuable feed raw material with prebiotic activity // Agriculture. 2025. Vol. 15. № 3. Article number: 317. DOI: 10.3390/agriculture15030317
6. Месхи Б.Ч., Пахомов В.И., Камбулов С.И., Рудой Д.В., Мальцева Т.А., Панфилов И.А. Очёсывающее устройство для уборки зерновых культур // Патент на полезную модель, RU 233080 U1, 03.04.2025, Россия, МПК A01D 41/08, A01D 41/12; заявл. 04.12.2024, опубл. 03.04.2025. Заявитель ФГБОУ ВО ДГТУ
7. Слезко Е. И., Гапонова В. Е. Влияние процесса экструдирования на питательные качества корма // Техника и

технологии в животноводстве. 2021. №1 (41). С. 66–70. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-66

8. Антимонов С. В., Соловых С. Ю., Кишкилев С. В. Исследования по влиянию экструдированного комбикорма, полученного с применением предварительно охлажденного измельченного зерна, на прирост живой массы поросят // МНИЖ. 2023. №1 (127). С. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.86>

9. Великанов В. В., Сологуб Р. М., Марусич А. Г. Влияние комбикорма с включением зерна озимой ржи с различными видами его обработки на физиологическое состояние и обмен веществ лактирующих коров // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2025. №28–2. С. 156–165

10. Нестерук, Е. В. Влияние суспензии хлореллы на динамику живой массы тела и гематологические показатели крови у гомеотермных животных // Животноводство и ветеринарная медицина. 2022. №2. С. 32–37

11. Рощин В. И., Юрина Н. А., Миксон Д. С., Короткий В. П., Рыжов В. А. Экстрактивные вещества хвойной кормовой фитодобавки и их влияние на продуктивность сельскохозяйственных животных при стрессах. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 366–382. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.366-382

12. Peñaranda I., Garrido M. D., García-Segovia P., Martínez-Monzó J., Igual M. Effect of protein texturization on amino acids and protein in vitro bioaccessibility of pea and rice protein // Food and Function. 2025. №16. P. 1820-1829. DOI: 10.1039/D4FO04829F.

References

1. Akulov V. I., Vorob'ev A. L., Antyuhov V. M., Vidov P. O. Optimizaciya receptury ekstrudirovannykh kombikormov dlya krupnogo rogatogo skota [Optimization of extruded cattle feed formulas] // Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2021. №7 (173). S. 42–45. DOI: 10.24412/cl-33489-2021-7-42-45

2. Bazylev M. V., Bukas V. V., Levkin E. A. Effektivnost' proizvodstva svininy na promyshlennoj osnove za schet intensivifikatsii kormleniya svinей [Efficiency of industrial pork production through intensified pig feeding] // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. 2012. №15 (1). S. 38–44

3. Muhramova A. A., Asylbekova S. Zh., Sidorova V. I., Sambetbaev A. A., Isbekov K. B. Startovyy kombikorm dlya clarias gariepinus, razrabotannyj v Kazahstane: receptura, pokazateli kachestva i effektivnost' v akvakul'ture [Starter feed for *clarias gariepinus* developed in Kazakhstan: formulas, quality indicators, and efficiency in aquaculture] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2022. №4 (57). S. 791–802. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.791rus

4. Ponomarev S. V., Grozesku YU. N., Bahareva A. A. Industrial'noe rybovodstvo: uchebnik. [Industrial pisciculture] 2-e izd., ispr. i dop. Sankt-Peterburg : Lan', 2022. 448 s. ISBN 978-5-8114-1367-6. Tekst : elektronnyj // Lan' : elektronno-bibliotchnaya sistema. URL: <https://e.lanbook.com/book/211118> (data obrashcheniya: 14.01.2026). Rezhim dostupa: dlya avtoriz. pol'zovatelej

5. Meskhi B., Pakhomov V., Rudoy D., Maltseva T., Olshevskaya A., Mazanko M. Early maturity wheat as a highly valuable feed raw material with prebiotic activity // Agriculture. 2025. Vol. 15. № 3. Article number: 317. DOI: 10.3390/agriculture15030317

6. Meskhi B.CH., Pahomov V.I., Kambulov S.I., Rudoy D.V., Mal'tseva T.A., Panfilov I.A. Ochyosyvyayushchee ustrojstvo dlya uborki zernovykh kul'tur [Stripper for harvesting grain crops] // Patent na poleznuyu model', RU 233080 U1, 03.04.2025, Rossiya, MPK A01D 41/08, A01D 41/12; zayavl. 04.12.2024, opubl. 03.04.2025. Zayavitel' FGBOU VO DGTU

7. Slezko E. I., Gaponova V. E. Vliyanie processa ekstrudirovaniya na pitatel'nye kachestva korma [The effect of extrusion on feed nutrition] // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2021. №1 (41). S. 66–70. DOI: 10.51794/27132064-2021-1-66

8. Antimonov S. V., Solovyh S. YU., Kishkilev S. V. Issledovaniya po vliyaniyu ekstrudirovannogo kombikorma, poluchennogo s primeneniem predvaritel'no ohlazhdennogo izmel'chennogo zerna, na prirost zhivoj massy porosyat [The study of the effect of extruded mixed feed obtained using pre-cooled grinded grain on live weight increase in piglets] // MNIZH. 2023. №1 (127). S. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.86>

9. Velikanov V. V., Sologub R. M., Marusich A. G. Vliyanie kombikorma s vklucheniem zerna ozimoy rzi s razlichnymi vidami ego obrabotki na fiziologicheskoe sostoyanie i obmen veshchestv laktiruyushchih korov [The effect of mixed feed including winter rye with various processing methods on the physiological condition and metabolism of lactating cows] // Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva. 2025. №28–2. S. 156–165

10. Nesteruk, E. V. Vliyanie suspenzii hlorely na dinamiku zhivoj massy tela i gematologicheskie pokazateli krovi u gomeotermnykh zhivotnykh [The effect of chlorella suspension on live weight dynamics and hematological parameters in homeothermic animals] // Zhivotnovodstvo i veterinarnaya medicina. 2022. №2. S. 32–37

11. Roshchin V. I., YUrina N. A., Mikson D. S., Korotkij V. P., Ryzhov V. A. Ekstraktivnye veshchestva hvojnoj kormovoj fitodobavki i ih vliyanie na produktivnost' sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh pri stressah [Extractive substances of coniferous feed phytoadditive and their effect on livestock productivity under stress] // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. 2024. Vyp. 250. S. 366–382. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.366-382

12. Peñaranda I., Garrido M. D., García-Segovia P., Martínez-Monzó J., Igual M. Effect of protein texturization on amino acids and protein in vitro bioaccessibility of pea and rice protein // Food and Function. 2025. №16. P. 1820-1829. DOI: 10.1039/D4FO04829F

Поступила: 15.03.26; доработана после рецензирования: 22.03.26; принята к публикации: 23.03.26.

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. Пахомов В. И. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, написание публикации; Рудой Д. В. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, написание публикации; Мальцева Т. А. – проведение экструдирования зернового вороха, проведение анализа качества, анализ и интерпретация данных, написание публикации; Косолапова Е. Н. – проведение анализа качества, анализ и интерпретация данных, написание публикации.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.