На правах рукописи

ХАМВИ МОХАМАД НАВАР

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ПРОТЕАЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМ АМИНОКИСЛОТ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва - 2026 г.

Работа выполнена на кафедре кормления животных ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева».

Научный руководитель:	**Шаповалов Сергей Олегович,** доктор биологических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»
Официальные оппоненты:	**Ильина Лариса Александровна,** доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
	Карпенко Лариса Юрьевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биохимии и физиологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «09» декабря 2026 г. в 12:30 ч. на заседании диссертационного совета 35.2.030.10 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.10,
кандидат биологических наук, доцент — Заикина Анастасия Сергеевна

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Перед мировым сельским хозяйством уже не первое десятилетие стоит задача: как наращивать производство продовольствия для растущего населения планеты, если ресурсы ограничены, а экологические требования постоянно ужесточаются. Птицеводство в этом смысле оказалось наиболее эффективным сектором животноводства. Мясо птицы отличается высокой пищевой ценностью, коротким производственным циклом и лучшей конверсией корма среди всех видов мяса, и на него приходится около 40 % мирового потребления животного белка. Но дальнейшая интенсификация отрасли упирается в целый клубок взаимосвязанных экономических и экологических ограничений.

Главное из них — стоимость кормов, которая доходит до 70 % себестоимости конечной продукции. Основные расходы при этом приходятся на протеиновые компоненты. Параллельно с экономическим давлением отрасль испытывает и экологическое: нужно сокращать выбросы азота. В традиционном птицеводстве потери азота очень велики — до 50 % и более от того количества, которое поступает с кормом, не усваивается птицей и уходит с помётом в окружающую среду, загрязняя водоёмы, почву и атмосферу.

Частично эту проблему в мировой практике решают за счёт экзогенных протеолитических ферментов. Эти добавки, которые вводят в комбикорма, повышают доступность питательных веществ из растительного сырья. В фокусе исследований последних лет — целенаправленное снижение сырого протеина в рационе при точной балансировке незаменимых аминокислот синтетическими кристаллическими формами. Накопленные за пять лет данные показывают: уменьшение сырого протеина на 2–4 % с добавлением кристаллических аминокислот не снижает продуктивность бройлеров. Выделение азота при этом заметно падает, как и нагрузка на окружающую среду. Для работоспособности такого подхода нужны специфические экзогенные протеазы, способные расщеплять прочные пептидные связи кератина. В подобных схемах протеазы действуют по двум направлениям. Прямое — расщепление основного белка корма, за счет чего растет доступность аминокислот. Косвенное — инактивация белковых антинутриентов: ингибиторов трипсина и химотрипсина, аллергенных белков, лектинов (агглютининов), полифенолоксидаз, липоксигеназ, уреаз и ингибиторов амилазы. Совокупный результат — улучшение нутритивного статуса, рост переваримости корма и оптимизация физиологического состояния птицы. Для низкопротеиновых рационов с перьевой мукой и кукурузным глютеном такая коррекция должна быть особенно точной. Прежде всего она направлена на компенсацию дефицита тех аминокислот, которые становятся лимитирующими при снижении СП, — валина и изолейцина. Из этого следует, что комплексные исследования по разработке и обоснованию технологии синергетического применения специфических протеаз и кристаллических аминокислот в низкопротеиновых рационах

бройлеров с включением перьевой муки и труднорасщепляемых белков кукурузы — это не только актуальная научная задача, но и практическая необходимость. Без неё сложно обеспечить конкурентоспособность и устойчивое развитие отечественного птицеводства.

Степень разработанности темы. Тема диссертационного исследования является современной и актуальной, как протеиновому, так и аминокислотному питанию птицы, а также снижению себестоимости продукции, повышению эффективности использования ресурсов и минимизации экологической нагрузки. Работа посвящена комплексному решению проблемы повышения питательной ценности и эффективности использования низкопротеиновых рационов для бройлеров за счёт синергетического применения комплекса протеаз и кристаллических аминокислот. Усилия зарубежных и отечественных исследователей распределились по разным аспектам этой проблемы и охватили весь обозначенный круг вопросов. Среди авторов — Крючков И.А., Никишов А.А. (2025); Буряков Н.П. и др. (2023); Коуисон А.Дж. и др. (2020); Цзуо Дж. и др. (2020); Кебреаб Э. и др. (2016); Лю Х. и др. (2024); Ли П. и др. (2025); Ким В.К. и др. (2022). Поиск продолжается: альтернативные корма — перьевая и мясокостная мука — рассматривают как способ повысить доступность аминокислот и точно скорректировать их высвобождающийся профиль кристаллическими аминокислотами. Однако работ, где такая технология оценивалась бы одновременно по продуктивным показателям, экономической целесообразности (Козинец А.И. и др., 2024) и снижению экологической нагрузки через уменьшение экскреции азота (Shnyder J.F. и др., 2023; Kebreab E. и др., 2016), недостаточно. Практически отсутствуют исследования, в которых был бы пройден полный цикл: валидация методов оценки протеаз in vitro и изучение их воздействия на переваримость сырья (Bryan D.D.S.L. и др., 2020; Cowieson A.J. и др., 2020), физиологический опыт на птице, производственная проверка и расчет экономико-экологической эффективности.

Цели и задачи исследования. Целью работы являлась разработка эффективной технологии кормления бройлеров на основе низкопротеиновых рационов с включением перьевой муки, балансируемых кристаллическими аминокислотами и комплексом протеаз для повышения продуктивности, экономической и экологической эффективности производства.

В этой связи в задачи исследований входит:

1. Провести сравнительную валидацию и верификацию методов оценки протеолитической активности ферментных препаратов от разных производителей in vitro.

2. Определить влияние комплекса протеаз на переваримость сухого вещества и сырого протеина мясокостной и перьевой муки в условиях in vitro моделирования.

3. Установить оптимальный уровень включения протеаз в низкопротеиновые рационы бройлеров, содержащие мясокостную муку, по показателям продуктивности и усвояемости питательных веществ in vivo.

4. Разработать подходы к балансированию низкопротеиновых вегетарианских рационов с включением кукурузного глютена с протеазами по аминокислотному составу и оценить их влияние на рост, конверсию корма и качество тушей бройлеров.

5. Дать комплексную оценку практического потенциала совместного применения оптимизированных уровней протеаз, и аминокислот в низкопротеиновых рационах с перьевой мукой на продуктивные показатели и физиологический статус птицы.

6. Определить экологическую и экономическую эффективность предложенной стратегии кормления.

7. Провести производственную проверку разработанной рецептуры комбикорма в условиях промышленного птицеводческого предприятия.

Научная новизна. Разработаны и валидированы протоколы определения протеазной активности, специфически адаптированные к анализу ферментных препаратов, премиксов и готовых комбикормов.

Впервые адаптирован и валидирован двухэтапный метод in vitro для оценки истинной переваримости сырого протеина и сухого вещества мясокостной и, перьевой муки, как трудноусвояемого субстрата. Показано на модели низкопротеиновых рационов с включением перьевой муки научно обоснован и экспериментально доказан синергетический эффект от сочетанного применения комплекса экзогенных протеаз и прецизионной балансировки кристаллическими аминокислотами.

Впервые установлено, что ключевым механизмом действия протеаз является дозозависимая стимуляция активности эндогенных ферментов полостного и пристеночного пищеварения в тонком кишечнике бройлеров.

Доказана не только продуктивная, но и значимая экологическая эффективность данной технологии, выражающаяся в снижении экскреции общего азота с пометом, это способствует снижению эвтрофикации водоёмов биогенными (N, P) элементами.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы состоит в углублении и расширении научных представлений в области нутрициологии сельскохозяйственной птицы. Мы предлагаем валидированные и усовершенствованные протоколы оценки in vitro протеолитической активности ферментов и переваримости трудноусвояемых кормовых белков — это повышает точность и воспроизводимость экспериментов. Получены новые данные о взаимодействии экзогенных протеаз и кристаллических аминокислот; это взаимодействие раскрывает физиологическую основу усиления полостного и пристеночного пищеварения у птиц. Разработана и экспериментально подтверждена концепция прецизионного балансирования низкопротеиновых рационов с включением альтернативных белковых источников. Она дополняет

теорию аминокислотного питания и метаболизма азота. Результаты создают теоретическую базу для ресурсосберегающих и экологически ориентированных технологий кормления, отвечающих принципам экономики замкнутого цикла.

Практическая значимость связана с прямой возможностью внедрения результатов в промышленное бройлерное птицеводство. Разработанные рецептуры комбикормов со сниженным уровнем сырого протеина, сбалансированные кристаллическими аминокислотами и комплексом протеаз, позволяют сократить долю дорогостоящего соевого шрота до 27 % за счет перьевой муки и кукурузного глютена. Это дает прямую экономию на себестоимости кормов, повышает продуктивность на 5–9 %, улучшает затраты корма до 1,46–1,59 кг/кг и увеличивает выход мяса с единицы площади. Апробированные аналитические методики можно внедрить в систему производственного контроля качества сырья и ферментных препаратов на комбикормовых заводах. Важнейший практический итог — доказанная экологическая эффективность технологии: выделение азота с помётом снижается более чем на 10 %, что уменьшает нагрузку на окружающую среду и соответствует жестким экологическим стандартам.

Методология и методы исследования. Объектом научных исследований являлись цыплята-бройлеры кросса «Росс 308». Методология работы базировалась на системном подходе к решению актуальной проблемы, объединяющем анализ научных данных ведущих специалистов в области кормления и биохимии сельскохозяйственной птицы (Егоров И.А., Андрианова Е.Н. и др.) с комплексом классических и современных экспериментальных методов, а также обобщения и сравнительного анализа полученных результатов. В ходе работы применялись взаимодополняющие группы методов: зоотехнические и производственные (постановка опытов, учет продуктивности, балансовые испытания), физиологические и морфологические (контрольный убой, анатомическая разделка, отбор биологических образцов), биохимические и аналитические (определение активности ферментов, биохимический анализ крови, оценка состава кормов) и статистические методы обработки данных.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Разработанные и валидированные усовершенствованные методики определения активности кислых, нейтральных и щелочных протеаз в кормовых матрицах и оценки in vitro переваримости белков трудногидролизуемого сырья (мясокостной и перьевой муки).

2. Научно обоснованная стратегия балансирования низкопротеиновых рационов для бройлеров, включающая снижение уровня сырого протеина на 1,5–2,5 п.п. и его прецизионную компенсацию кристаллическими аминокислотами (лизином, метионином, треонином, валином и изолейцином).

3. Установленный синергетический эффект от комплексного применения экзогенных протеаз и кристаллических аминокислот,

обеспечивающий максимальный рост продуктивности, улучшение конверсии корма.

4. Выявленный дозозависимый характер влияния комбинированных протеаз на продуктивные показатели бройлеров, с определением эффективного диапазона в количестве от 500 до 1000 г/т корма.

5. Установленный физиологический механизм действия протеаз, заключающийся в дозозависимой стимуляции активности эндогенных ферментов полостного и пристеночного пищеварения в тонком кишечнике.

6. Доказанное положительное влияние разработанных рационов на мясные качества тушек, выражающееся в достоверном увеличении абсолютной массы грудной и бедренной мышц.

7. Подтверждённая физиологическая безопасность и адаптивность метаболических процессов у бройлеров при использовании низкопротеиновых рационов, сбалансированных аминокислотами и протеазами.

8. Установленная высокая экологическая эффективность технологии, проявляющаяся в снижении экскреции общего азота с помётом на 10,8% и аммонийного азота на 3,8% за счёт увеличения ретенции азота организмом на 10%, а также эффективности его использования до 69,40% что выше на 3% от контроля. Снижение концентрации азотистых соединений в помете подтверждает высокую экологическую эффективность стратегии.

9. Результаты производственной апробации, подтверждающие комплексное улучшение технико-экономических показателей: увеличение конечной живой массы на 5,2%, улучшение FCR на 3,7%, повышение сохранности до 97,9% и выхода мяса с 1 м² до 65,0 кг.

10. Практические рекомендации по составу комбикормов, включающие использование до 6% перьевой муки, премикса кристаллических аминокислот и комбинации протеаз в количестве 500–1000 г/т, обеспечивающие экономию кормовых ресурсов и снижение себестоимости продукции.

Степень достоверности и апробация результатов исследований.

Достоверность научных результатов и выводов диссертации обеспечена корректной методологией исследований, применением общепринятых и современных аналитических методик, а также репрезентативностью экспериментальных данных, полученных на значительном фактическом материале. Статистическая обработка цифровых данных выполнялась с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2010.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича (Москва, 3-5 июня 2024 г.), Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвященной 160-летию Тимирязевской академии (Москва, 2-4

июня 2025 г.), VII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий» (Луганск, 9-10 февраля 2026 г.), XVIII Международной конференции «Инновационные процессы в АПК», секция «Науки о животных» (Москва, 24 апреля 2026 г.), Всероссийской с международным участием научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 155-летию со дня рождения академика М.Ф. Иванова (Москва, 27-29 апреля 2026 г.).

Реализация результатов исследований. Полученные в ходе работы научно-практические результаты внедрены в производственную деятельность АО «Куриное царство» (ПАО «Черкизово»).

Публикации результатов исследований. На основании полученных данных диссертационной работы опубликовано 13 работ, из которых 4 – в изданиях, включенных в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, утвержденных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской федерации и рекомендованных для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 154 страницах машинописного текста и включает в себя необходимые разделы (введение, обзор литературы, материал и методы исследований, результаты собственных исследований и их обсуждение, заключение, предложения производству, перспективы дальнейшего исследования и список использованной литературы, список сокращений). Список литературы состоит из 173 источников, в том числе 81 из них иностранных. Работа иллюстрирована 44 таблицами и 1 рисунком.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Диссертационная работа представляет собой результат многолетних комплексных исследований, выполненных в период с 2023 по 2026 гг. на базе ведущих научных учреждений и производственных площадок Российской Федерации. Лабораторные исследования in vitro проводились в Центре коллективного пользования и на кафедре кормления животных ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Лабораторные исследования in vitro по определению протеолитической активности ферментных препаратов, а также по отработке и валидации методов оценки переваримости сухого вещества и сырого протеина мясокостной и перьевой муки проводили на базе аккредитованного Научно-испытательного центра «Черкизово». В части разработки теоретических основ методов и статистической обработки результатов использовали мощности Центра коллективного пользования и кафедры кормления животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Эксперименты *in vivo*, выполненные в виварии ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, проводили в клеточных батареях с соблюдением всех норм и рекомендации. Производственную проверку проводили в условиях

промышленного птичника АО «Куриное царство», в ЗАО «Моссельпром» - БЦ «Константиново-1». (Московская область) при напольном содержании.

Структура и последовательность научных изысканий разрабатывалась с учетом необходимости решения фундаментальных вопросов методологии оценки питательности кормов и прикладных задач оптимизации кормления сельскохозяйственной птицы, что определило реализацию работы в три логически взаимосвязанных этапа (исследования *in vitro* и *in vivo*, а также производственная проверка. Общая схема проведенных исследований представлена на рисунке 1.

Лабораторные исследования *in vitro*. Первый этап, посвященный лабораторным исследованиям in vitro, стал основой для разработки и совершенствования методологического аппарата, необходимого для объективной оценки переваримости протеина и активности ферментных препаратов. Был разработан и валидирован модифицированный двухэтапный in vitro метод, основанный на концепции Boisen & Fernández (1997).

Процедура валидации была проведена согласно ICH Q2(R2) Validation of analytical procedures - Scientific guideline.

Эксперименты *in vivo*. Эксперименты in vivo, выполненные в виварии ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, проводились в клеточных батареях с соблюдением зоогигиенических норм. Производственная проверка проводилась в условиях промышленного птичника АО «Куриное царство-Московская область» при напольном содержании. Ниже представлено последовательное описание четырёх экспериментов.

Первый научно-хозяйственный опыт. В опыте было сформировано 5 групп: Контрольная группа: птица получала базовый комбикорм, полностью соответствующий нормам кормления для кросса «Ross 308», без добавления экзогенных протеаз. Опытная группа (I): рацион аналогичен контрольному, с добавлением протеаз КЕМЗАЙМ в дозе 200 г/т. Опытная группа (II): рацион аналогичен контрольному, с добавлением протеаз Стеллар Про в дозе 200 г/т. Опытная группа (III): рацион с увеличенной общей дозой ферментного комплекса – 400 г/т (по 200 г/т каждого). Опытная группа (IV): рацион обогащён максимальной дозой ферментов – 500 г/т (по 250 г/т каждого). Все группы получали одинаковый базовый рацион, сбалансированный по питательности, с включением 5–7,5% мясокостной муки. Единственным различием было наличие и количество ферментной добавки.

Второй научно-хозяйственный опыт. Все рационы не содержали перьевой муки. В опытных группах уровень сырого протеина (СП) был снижен на 2,0 п.п. на старте (до 19,0%) и на 1,5 п.п. на росте и финише (до 17,5%) по сравнению с контролем (старт 21,0%, рост/финиш 19,0%). Дефицит аминокислот компенсирован кристаллическими формами (лизин, метионин, треонин, валин, изолейцин). Опытная группа I получала комплекс протеаз в дозе 400 г/т (по 200 г/т Кемзайм и Стеллар Про), опытная группа II — в дозе 500 г/т (по 250 г/т каждого препарата). Продолжительность опыта – 35 суток.

Третий научно-хозяйственный опыт. Все рационы содержали 6% перьевой муки. Контрольная группа получала полноценный рацион (21/19/19% СП). Опытные группы имели пониженный уровень СП (19/17,5/17,5%) с аминокислотной коррекцией. Опытная группа I получала только аминокислотную коррекцию без протеаз. Группа II получала протеазы в дозе 500 г/т (по 250 г/т каждого препарата), группа III – 1000 г/т (по 500 г/т). Помимо продуктивных показателей и убойных качеств, проводили:

Биосенсорная оценка. Органолептическую оценку варёного и запечённого мяса, а также бульона (по 5-балльной шкале, условия дегустации – по ISO 8589, дескрипторы – по ISO 13299). Органолептический анализ качества мяса грудных и бедренных мышц бройлеров, а также бульона, полученного при варке тушек, проводился в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 6658-2016, регламентирующего организацию и проведение сенсорных испытаний.

Оценка экологической эффективности. Отбор проб помёта, определение общего азота (TN) методом Кьельдаля, аммонийного азота (NH_4^+-N) колориметрический, расчёт ретенции азота. Экологический аспект оценивался путем расчета выделения азота с пометом на основе данных о потреблении и переваримости протеина, что демонстрировало потенциал снижения азотной нагрузки на окружающую среду. Для исследования использовали куриный помет, образцы которого отбирались в нескольких местах. После сбора образцы тщательно перемешивались в пластиковом емкости для получения составного образца, упаковывались в герметичные пластиковые пакеты и доставлялись в лабораторию для анализа. Общее содержание азота (TN) анализировалось путем сжигания образцов куриного помета в анализаторе Hanon (Китай). Содержание сырого протеина определяли по методу Кьельдаля (ГОСТ 13496.4), сырого жира (ГОСТ 13496.15), сырой клетчатки (ГОСТ 13496.2), золы (ГОСТ 13979.3), влаги (ГОСТ 13979.1).

Четвёртый научно-хозяйственный опыт – производственная проверка. Согласно схеме эксперимента на двух идентичных по конструкции и оборудованию птичниках АО «Куриное царство» Московская область. было размещено по 20 000 суточных цыплят кросса «Ross 308». В одном птичнике применялась базовая (контрольная) схема кормления (стандартный полноценный рацион без перьевой муки и протеаз), в другом – опытная схема (низкопротеиновый рацион с 6% перьевой муки, сбалансированный кристаллическими аминокислотами и обогащённый комплексом протеаз в количестве 500 г/т – по 250 г/т каждого препарата). Управление микроклиматом, кормлением и поением – автоматизированное. В течение 42-дневного цикла учитывали: расход корма (ежедневно), живую массу (еженедельно, не менее 100 голов из разных зон), падёж (ежедневно), конверсию корма (FCR), сохранность поголовья, выход мяса с 1 м². На основе этих данных выполнен экономический анализ.

Обменный опыт. На завершающем этапе каждого in vivo эксперимента (35–39-е сутки) от каждой группы отбирали по 6–8 голов со средней живой массой. Птицу размещали в индивидуальные метаболические клетки (адаптация 2 дня, учёт 3–5 дней).

Биохимия крови. Сыворотку анализировали на автоматическом анализаторе Sapphire-400 (Япония).

Анализ кормов. Содержание сырого протеина – по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4), сырого жира – экстракцией в аппарате Сокслета (ГОСТ 13496.15), сырой клетчатки – по Геннебергу-Штоману (ГОСТ 13496.2), золы – прокаливанием (ГОСТ 13979.3), влаги – высушиванием (ГОСТ 13979.1).

Статистический анализ. Анализ полученных данных проводился с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США) и Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). Достоверность различий между средними значениями оценивали с помощью параметрического t-критерия Стьюдента (при нормальном распределении данных). Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$; $p \leq 0,001$. Все данные представлены в формате $M \pm m$ (среднее значение ± стандартная ошибка среднего).

Эффективность использования комплекса протеаз и кристаллических форм аминокислот в кормлении цыплят-бройлеров



Рисунок 1. Общая схема проведенных исследований

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Валидация и верификация методов оценки активности протеаз с использование методик разных производителей

Целью данной части экспериментальной работы являлась разработка усовершенствованных, стандартизированных методов определения активности кислых, нейтральных и щелочных протеаз, адаптированных к специфическим матрицам: коммерческим ферментным препаратам, премиксам и готовым комбикормам. Ключевые валидационные параметры демонстрируют высокое качество метода: специфичность метода подтверждена: наличие потенциально мешающих ферментов (маннаназы, ксиланазы) не оказывало значимого влияния на результат определения протеазы, величина специфичности не превышала 0,75% (при критерии ≤5%); линейность сохраняется во всём рабочем диапазоне (55–5501 ед./кг), что подтверждается высоким коэффициентом корреляции (r = 0,9988); правильность, оцененная методом добавок, составила в среднем 100% (REC = 98,8–103,2%), что указывает на отсутствие систематической погрешности; чувствительность метода характеризуется низким пределом обнаружения - 16,6 ед./кг и пределом количественного определения - 55,2 ед./кг), что позволяет надёжно определять как следовые, так и рабочие количества фермента в кормах; прецизионность метода на высоком уровне: относительное стандартное отклонение повторяемости (Sr) составило 2,0%, а внутрилабораторной прецизионности (S_{Rw}) — 1,9%. Это свидетельствует о высокой воспроизводимости результатов как в условиях повторяемости, так и при варьировании факторов (оператор, время, партии реактивов); расширенная неопределенность измерений установлено в 7,6% (при k = 2, P = 0,95), что является приемлемым значением для методов ферментативного анализа в сложных матрицах.

3.2. Применение разных методов и подходов для оценки переваримости сухого вещества, сырого протеина мясокостной и перьевой муки in vitro

В качестве основного метода-прототипа для оценки переваримости перьевой муки был выбран регламентированный ГОСТ Р 55987-2014. Данный стандарт устанавливает одноэтапную процедуру, моделирующую исключительно желудочную фазу пищеварения в усиленных условиях. Для создания более физиологически адекватной модели был рассмотрен второй метод – двухэтапный последовательный пепсино-панкреатиновый гидролиз (на основе подхода Boisen & Fernández, 1997). Его принцип заключается в последовательной инкубации пробы сначала в растворе пепсина при кислом pH (1,5–2,0), имитируя условия желудка, а затем, после нейтрализации, в растворе панкреатина при pH 6,8–7,5, для моделирования условий тонкого кишечника, этот метод применим для широкого спектра кормов, но требует оптимизации условий для каждого типа сырья. Третий рассматриваемый подход – методы с предварительной химической или ферментативной обработкой субстрата, для нативных структурных белков (кератин, коллаген)

в литературе описаны протоколы, включающие этап предварительной денатурации или расщепления поперечных сшивок для разрыва дисульфидных мостиков в кератине. На основании проведённых исследований можно заключить, что применение классического одноэтапного метода (ГОСТ Р 55987-2014) для оценки переваримости белкового сырья, особенно такого структурно сложного, как мясокостная и перьевая мука, имеет существенные ограничения, связанные с отсутствием моделирования кишечной фазы пищеварения. Это приводит к значительному занижению показателей переваримости, что не позволяет объективно оценить питательный потенциал данного вида кормов. В этой связи был разработан и адаптирован двухэтапный метод последовательного ферментативного гидролиза, основанный на принципах подхода Boisen & Fernández, который включает симуляцию не только желудочного, но и кишечного этапа переваривания за счёт инкубации с пепсином и панкреатином. Валидация модифицированного протокола подтвердила его высокую точность и воспроизводимость: метод характеризуется удовлетворительной правильностью, доказанной методом добавок, высокой прецизионностью в условиях повторяемости и внутрилабораторной воспроизводимости, а также приемлемой расширенной неопределенностью.

3.3. Использование различных уровней протеаз в кормлении цыплят бройлеров

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние различных типов и количеств экзогенных протеаз на продуктивность цыплят-бройлеров за периоды выращивания

Показатели	Контроль	Опытная группа I	Опытная группа II	Опытная группа III	Опытная группа IV
Производитель		Кемзайм (К)	Стеллар (С)	К + С	К + С
Протеазы, г/т	0	200	200	200 + 200 = 400	250 + 250 = 500
Возраст, сут	Прирост, г \ сутки				
1 – 8	155	156	152	160	164
9 -19	620	653	658	680	694
20 - 35	1671	1680	1686	1690	1698
36 - 40	494	525	540	559	560
За весь период	2940	3014	3036	3089	3116
Возраст, сут	Потребление корма, г				
1 – 8	185	170	170	175	175
9 -19	862	839	854	857	850
20 - 35	2900	2896	2806	2796	2783
36 - 40	950	900	885	870	868
За весь период	4897	4805	4715	4698	4676
Затраты корма, г/г (FCR)					
За весь период	1,666	1,595	1,553	1,521	1,501

Введение протеаз оказало существенное положительное влияние на продуктивность, все опытные группы превзошли контроль по конечной живой массе, наибольший суммарный прирост (3116 г) был отмечен в группе IV с комбинацией протеаз в количестве 500 г/т, что на 176 г превысило показатель контроля (2940 г), группа III (комбинация, 400 г/т) также показала высокий

результат – 3089 г, группы на монопрепаратах имели прирост 3014 г и 3036 г, аналогичная тенденция наблюдалась по конверсии корма (FCR), наилучшая эффективность использования корма была достигнута в группах с комбинированными протеазами: FCR составил 1,521 и 1,501 г/г в группах III и IV соответственно, против 1,666 г/г в контроле. Важно отметить, что положительный эффект протеаз усиливался к финальной фазе откорма, когда уровень МКМ в рационе был максимальным, что указывает на целенаправленное действие ферментов на белки животного происхождения.

3.4. Подходы к балансированию низкопротеиновых вегетарианских рационов бройлеров кристаллическими аминокислотами для повышения продуктивности цыплят бройлеров

Анализ рецептур показывает, что в опытных группах уровень сырого протеина (СП) был снижен на 2,0 процентных пункта на фазе старта (с 21% до 19%) и на 1,5 процентных пункта на фазе роста (с 19% до 17,5%) по сравнению с контролем, что соответствует относительному снижению на 9,5% и 7,9% соответственно. В таблице 2 представлены зоотехнические показатели, отражающие влияние сниженного уровня сырого протеина в комбикормах, сбалансированных кристаллическими аминокислотами и ферментами, на продуктивность бройлеров кросса Ross к 35-дневному возрасту.

К возрасту 35 суток наблюдалась выраженная положительная динамика в опытных группах. Абсолютный показатель средней живой массы последовательно возрастал: с 2094 г в контроле до 2205 г (увеличен на 5,3%) в I опытной группе и 2287 г (увеличен на 9,2%) – во II опытной группе.

Таблица 2. Влияние снижения уровня сырого протеина в рационах, сбалансированных кристаллическими аминокислотами и ферментами, на зоотехнические показатели бройлеров кросса Ross 308 (35 дней).

Показатель	Контроль	Опытная группа I	Опытная группа II
Начальная живая масса	40,0 ± 0,42	40,0 ± 0,55	40,0 ± 0,39
Средняя живая масса, г:	2094 ± 93,60	2205 ± 47,08	2287± 34,97
- петушков	2198	2296	2391
- курочек	1990	2114	2183
Среднесуточный прирост живой массы, г	58,69± 2,375	61,86±1,954	64,20±2,138
Затраты корма на 1 кг прироста (FCR), кг/кг	1,60	1,50	1,46
Среднее потребление корма, г/сут	93,80	92,79	93,83
Сохранность поголовья, %	95,62	95,58	96,25

Более детальную характеристику роста раскрывает показатель среднесуточного прироста живой массы. Его значение возросло с 58,69 г/сут. в контроле до 61,86 г/сут. (увеличен на 5,4%) в I группе и 64,20 г/сут. (увеличен на 9,4%) во II группе. Эта динамика напрямую коррелирует с конечной живой массой и указывает на более интенсивное развитие птицы в опытных группах на протяжении всего периода откорма. Наиболее значимым с экономической точки зрения является показатель конверсии корма (FCR), наблюдается его устойчивое улучшение: с 1,60 кг/кг в контроле до 1,50 кг/кг (уменьшен на

6,25%) в I группе и 1,46 кг/кг (уменьшен на 8,75%) во II группе. При этом среднее потребление корма в сутки оставалось стабильным (около 93 г), что исключает влияние различий в уровне потребления на полученные результаты. Результаты биохимического анализа крови цыплят-бройлеров в возрасте 35 суток не выявили статистически достоверных различий между контрольной и опытными группами по подавляющему большинству исследуемых параметров. птицы.

3.5. Практический потенциал применения разных концентраций комплекса протеаз, кристаллических форм аминокислот в низкопротеиновых рационах бройлеров с включением перьевой муки

В таблице 3. приведены результаты продуктивности бройлеров за 44-суточный период выращивания. Живая масса птиц в группах, получавших протеазы (II и III), составила в среднем 3164 г, что достоверно на 98–99 г (3,2%) выше контроля (3066 г).

Таблица 3. Показатели продуктивности при использовании комбикормов с разным уровнем сырого протеина, аминокислот и ферментов, 44 сутки.

Показатели продуктивности	Контроль	Опытная группа I	Опытная группа II	Опытная группа III
Начальная живая масса	45,1 ± 0,24	46,0 ± 0,65	45,2 ± 0,67	44,8 ± 0,34
Средняя живая масса, кг	3066,1 ±56,34	3016,0±7,08	3164,2±45,45	3164,8± 45,45
Прирост живой массы, г	3021±56,34	2970±87,08^{б}	3119± 45,45^{а}	3120 ± 45,45^{а}
- петушков	3230	3177	3335	3335
- курочек	2904	2855	2995	2995
Среднесуточный прирост живой массы, г	68,34± 1,457	67,81±2,409	68,11±3,449	68,43±2,354
Затраты корма на 1 кг прироста (FCR), кг/кг	1,64	1,67	1,59	1,59
Затраты корма на 1 голову, кг	4,954	4,960	4,959	4,961
Эффективность использования комбикорма, %	60,98	59,88	62,89	62,89
Сохранность поголовья, %	95,62	95,58	96,25	97,00

Примечание: статистическая значимость различий по сравнению с контрольной группой обозначена: * - p <0,05; ** - p <0,01, *** - p <0,001; аналогично $^{а, аа, ааа}$ — достоверность различий по сравнению с Опытной группой I; $^{б, бб, ббб}$ — достоверность различий по сравнению с Опытной группой II. Тут и далее.

При этом группа I (только аминокислоты без ферментов) показала результат на 50 г ниже контроля (3016 г), что подчёркивает важную роль протеаз. Среднесуточный прирост был максимальным в группе III (68,43 г/сут). Затраты корма (FCR) улучшилась в группах II и III до 1,59 кг/кг против 1,64 в контроле и 1,67 в группе I (повышение эффективности на 3,0–3,1%). Сохранность поголовья была высокой (97,0% в группе III). Органолептическая оценка мяса: образцы от птицы III группы (1000 г/т протеаз) получили наивысшие баллы по всем параметрам. Общий балл для белого варёного мяса

составил 4,90±0,34 против 4,64±0,28 в контроле; для красного запечённого мяса – 4,96±0,04 против 4,46±0,28. Особенно улучшились нежность (до 5,00) и сочность (до 4,90) красного мяса. Оценка бульона также была наилучшей в группе III (4,70±0,29 против 4,50±0,42 в контроле). Как видно из данных таблицы 4, протеазы статистически значимо повлияли на активность ферментов в тонком кишечнике при стабильной активности поджелудочной железы. В химусе двенадцатиперстной кишки в группе III показатель составил 85,36±9,3 мг/мин/г (на 12,6% выше контроля). В тощей кишке активность во II и III группах (77,3±4,9 и 79,9±6,2 мг/мин/г) была достоверно выше контроля (64,3±3,2) – прирост на 20,2% и 24,3% ($p < 0,001$). В подвздошной кишке активность в III группе (76,4±3,8) превышала контроль (60,2±7,4) на 26,9% ($p < 0,001$), во II группе – на 18,3% ($p < 0,01$). Активность пристеночных пептидаз в III группе (17,2±2,1) увеличилась на 70,3% ($p < 0,05$) относительно контроля (10,1±7,4). В поджелудочной железе достоверных отличий не отмечено. Таким образом, применение протеаз в дозе 1000 г/т обеспечивает наилучшие продуктивные и органолептические показатели, а также оптимизацию как полостного и пристеночного протеолиза.

3.6. Экологическая эффективность применения протеаз, кристаллических аминокислот в стратегиях снижения сырого протеина в рационах и экскреции азота с пометом в бройлерном производстве

В таблице 5 представлены детализированные данные по коэффициентам переваримости основных питательных веществ в низкопротеиновых рационах, сбалансированных кристаллическими аминокислотами и экзогенными протеазами. Наибольший показатель переваримости сырого протеина был достигнут во II опытной группе, получавшей комбинацию аминокислот и протеаз в дозе 500 г/т, и составил 82,34±1,71%. Это значение достоверно на 2,23 процентных пункта превышает контрольный показатель (80,11±1,34%) и на 3,00 п.п. – результат I опытной группы (79,34±1,56%), где применялись только аминокислоты без ферментной добавки. При этом переваримость сырой клетчатки и сырого жира оставалась стабильной и статистически не различалась между группами, варьируя в пределах 19,23–19,43% и 78,23–78,34% соответственно.

Ретенция азота (табл. 6) увеличивается на 6,43 процентных пункта или контрольной группы на 3%. Эти данные доказывают, что оптимизация протеинового питания за счёт дополнительной ферментной поддержки способствует более полной утилизации азота для анаболических нужд организма, что является предпосылкой для снижения экскреции азотистых соединений. В таблице 7. представлен комплексный анализ физико-химических параметров помёта, что позволяет объективно оценить экологическую нагрузку, связанную с выделением азотистых метаболитов.

Таблица 4. Протеолитическая активность тканей поджелудочной железы, химуса 12-перстной кишки химуса тонкого отдела кишечника, гомогената апикальной мембране и эпителия ворсинок (энтероцитов) тонкого кишечника, мг трипсина / мин / грамм ткани на 44 сутки, при pH = 6,2-6,4, *M±m, n=5*

Проба	Контрольная	Опытная группа I	Опытная группа II	Опытная группа III
Общих активность протеаз (трипсин, химотрипсин и др.)				
Химуса 12-перстной кишки *(Duodenum)*	75,8±14,3	65,9±10,3	80,4±3,4 аа	85,36±9,3
Химуса тощей кишки *(Jejunum)*	64,3±3,2	70,5±9,4 а,б	77,3±4,9 ***	79,9 ± 6,2 ***
Химуса подвздошной кишки *(Ileum)*	60,2±7,4	66,7±2,9	71,2±1,6 **, аа	76,4±3,8 ***, ааа, б
Протеолитическая активность пристеночного пищеварения (пептидазы, энтерокиназы)				
Гомогената апикальной мембраны и эпителия ворсинок (энтероцитов) тонкого кишечника ***(Jejunum + Ileum)***	10,1±7,4	10,3±1,1б	14,4±1,4 ааа	17,2±2,1 ааа, б
Протеолитическая активность полосного пищеварения, при pH = 7,2-7,4				
Гомогената ткани поджелудочной железы (*Pancreas)*	256±34,3	273±15,8	240±21,7 а	264±20,5

Таблица 5. Переваримость питательных веществ при использовании комбикормов с разным уровнем сырого протеина аминокислот и ферментов**,** *M±m, n=5*

Показатель	Контроль	Опытная группа I	Опытная группа II	Опытная группа III
М. д. сырого протеина, %	80,11±1,34	79,34±1,56	82,34±1,71	81,13±0,76
М. д. сырой клетчатки, %	19,23±1,76	19,43±1,17	19,34±1,15	19,34±1,33
М. д. сырого жира, %	78,23±1,56	78,34±1,56	78,23±1,45	78,34±1,23

Примечание: м. д. – массовая доля. Достоверных различий между группами нет

Таблица 6 Общий азотный баланс при целевом значении 60±5% при СП~20% при использовании комбикормов с разным уровнем сырого протеина аминокислот и ферментов, *M±m, n=5*

Показатель	Контроль	Опытная группа I	Опытная группа II	Опытная группа III
Ретенция N_2, (%)	60,34±0,15	61,35±0,34*	64,03±1,01 **, а	66,77±1,15 ***, аа
Эффект. исп. N_2, (%)	67,34±0,09	67,23±1,31	68,2±0,98	69,4±1,60

Наиболее значимым результатом является снижение содержания общего азота в сухом веществе помёта в группах, получавших протеазы: 23,5±0,6 г/кг в группе II и 23,1±0,5 г/кг в группе III против 25,9±0,4 г/кг в контроле. Это соответствует снижению экскреции общего азота на 9,3% и 10,8% соответственно. Концентрация аммонийного азота (NH_4^+-N), который является основной формой, участвующей в образовании летучего аммиака, также была минимальной в группе III (4,32±0,14 г/кг). Такие физические параметры, как влажность (73–78%), содержание сухого вещества (22–26%) и уровень pH (7,4–7,8) помёта, находились в пределах типичных значений для

бройлеров и не имели достоверных межгрупповых различий, что исключает влияние этих факторов на концентрацию азотистых соединений. Выявлено, что применение сбалансированных низкопротеиновых рационов с протеазами приводит к статистически значимому снижению содержания общего азота в помёте на 10,8% (до 23,1 г/кг СВ) и аммонийного азота на 3,8% (до 4,32 г/кг СВ) по сравнению с контрольной группой. Это снижение экскреции азота является прямым следствием улучшенного его удержания в организме и подтверждает высокую экологическую эффективность предложенной кормовой стратегии, направленной на уменьшение эмиссии аммиака и потенциального загрязнения почв и водоёмов биогенным азотом, который способствует процессам эвтрофикации водоёмов.

Таблица 7 Оценка помета на 44 сутки, *M±m, n=5*

Показатель	Контроль (К)	Опытная группа I	Опытная группа II	Опытная группа III
М. д. влаги, % в среднем	76	78	74	73
М. д. сухих веществ (СВ), % в среднем	24	22	26	27
pH	7,7±0,04	7,6±0,03	7,4±0,02 ***, ааа	7,8 ± 0,07 а, ббб
Содержание общего азота (TN) (г $кг^{-1}$) на СВ	25,9±0,4	24,9±0,3	23,5±0,6 *	23,1 ± 0,5 **, а
Содержание аммонийного азота NH_4^+-N (г $кг^{-1}$) на СВ	4,49±0,12	4,99±0,14 *	4,59±0,11б	4,32 ± 0,14 аа
Содержание элементарного азота в форме нитратов NO_3 -N (мг $кг^{-1}$) \ (ppm) на СВ	128,3±2,2	129,3±5,2	130,3 ± 2,4	120,1 ± 3,2

3.7. Производственная проверка и экономическая эффективность

Новый вариант продемонстрировал значительное и всестороннее превосходство. Конечная живая масса составила 3017 г против 2890 г в базовом варианте, что соответствует абсолютному приросту на 127 г. Было показано, что среднесуточный прирост живой массы увеличился до 70,87 г. Анализ данных, представленных в таблице 8, свидетельствует о высокой экономической целесообразности использования нового рациона. Несмотря на несколько больший валовой расход комбикорма в новом варианте, что обусловлено более высокой конечной живой массой птицы, средняя стоимость 1 кг корма в новом варианте оказалась на 1,06 руб. ниже благодаря оптимизации рецептуры и замене части дорогостоящего соевого шрота более доступными компонентами и кристаллическими аминокислотами. Это позволило сократить абсолютные затраты на корма на 29 091 руб. при одновременном росте объемов производства мяса. Результатом является получение дополнительной прибыли в новом варианте. При реализации продукции по производственным ценам дополнительная прибыль составила 340,8 тыс. рублей, а при реализации по потребительским ценам - 411,5 тыс. рублей. Дополнительно были рассчитаны уровни рентабельности: производства мяса 34,7% против 26,9% в базовом варианте, производства и реализации мяса 68,4% против 58,6%, выращивания бройлеров 88,6% против 77,6%. В пересчете на 1000 голов разница в прибыли

составила 15,6–19,1 тыс. рублей в пользу нового варианта. Сегодня в бизнесе выход мяса с 1 м² — это важнейший показатель. В представленных данных он вырос с 62,0 кг/м² в базовом варианте до 65,0 кг/м² в новом, то есть на 3,0 кг/м², или примерно на 4,8%. Этот рост сопровождался улучшением EPEF и снижением FCR. То есть с той же производственной площади получено больше мяса при более эффективном расходе корма. Этот показатель отражает эффективность использования самого лимитированного ресурса - производственных площадей и оборудования. В птицеводстве нельзя бесконечно повышать плотность посадки, поэтому именно выход мяса с 1 м² определяет валовой объём продукции, выручку и прибыль на единицу площади, а также окупаемость капитальных вложений. Чем выше этот показатель при сохранении сохранности и качества, тем конкурентоспособнее производство.

Таблица 8. Расчет экономической эффективности комбикормов с разным уровнем сырого протеина аминокислот и ферментов в кормлении цыплят-бройлеров (42 дня выращивания)

Показатель	Вариант	
	Базовый	Новый
Средняя живая масса, кг	2,890	3,017
Среднесуточный прирост, г	67,85	70,87
Затраты корма на 1 кг прироста (FCR), кг/кг	1,60	1,57
Эффективность использования комбикорма, %	62,5	63,7
Сохранность поголовья, %	97,5	97,9
Выход мяса с 1 м², кг при посадке, 22 гол. /м²	62,0	65,0
Индекс эффективности производства EPEF, пункты	419,3	447,9
Разность EPEF, пункты	—	+28,6
Поголовье на начало опыта, гол.	20 000	20 000
Поголовье на конец опыта, гол.	19 500	19 580
Масса тушки потрошеной, г	1 878,5	1 961,1
Всего получено мяса (выход валовой), кг	36 630,8	38 397,4
Израсходовано комбикормов всего, кг	88 888	91 490
Средняя стоимость 1 кг корма, руб.	25,98	24,92
Общие затраты на корма, руб.	2 309 784	2 280 693
Общие затраты на выращивание бройлеров, руб.	3 299 691	3 258 133
Общие затраты на производство мяса, руб.	4 619 568	4 561 386
Производственная цена 1 кг мяса, руб.	160	160
Потребительская цена 1 кг мяса, руб.	200	200
Доход от реализации по потребительской цене*, руб.	7 326 160	7 679 480
Доход от реализации по производственной цене**, руб.	5 860 928	6 143 584
Дополнительная прибыль в новом варианте, руб. (Потреб.)	—	+411 502
Дополнительная прибыль в новом варианте, руб. (Про.)	—	+340 838
Прибыль от рациона в расчёте на 1000 голов, руб. (Потреб.)	250 819	269 939
Прибыль в расчёте на 1000 голов, руб. (Про.)	177 557	193 145
Разность от рациона в прибыли в расч. на 1000 гол., руб. (Потреб.)	—	+19 120
Разность от рациона в прибыли в расч. на 1000 гол., руб. (Про.)	—	+15 588
Уровень рентабельности производства мяса, %	26,9	34,7
Уровень рентабельности производства и реализации мяса, %	58,6	68,4
Уровень рентабельности выращивания бройлеров, %	77,6	88,6

Примечание: * - цена потребительская; ** - цена производителя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стратегия контролируемого снижения сырого протеина в рационах бройлеров на основе прецизионного балансирования аминокислотного профиля кристаллическими аминокислотами и включения экзогенных протеаз в эффективных дозах обеспечивает повышение продуктивности птицы и экологической устойчивости производства. Подход применим к рационам с белком растительного и животного происхождения.

Согласно поставленным задачам, были сделаны следующие выводы:

1. Методы определения активности кислых, нейтральных и щелочных протеаз разработаны, усовершенствованы и валидированы. Они адаптированы к коммерческим ферментным препаратам, премиксам и готовым комбикормам. Валидация подтвердила высокую аналитическую надежность: интерференция ≤0,75 %, линейность в диапазоне 55–5501 ед./кг (r=0,9988), правильность REC=100,4 % (98,8–103,2 %). Чувствительность: предел обнаружения 16,6 ед./кг, предел количественного определения 55,2 ед./кг. Прецизионность Sr=2,0 %, SRw=1,9 %; неопределенность U=7,6 % при k=2. Разработанные протоколы обеспечивают точное, воспроизводимое и специфичное измерение протеолитической активности.

2. Двухэтапный метод оценки in vitro переваримости сухого вещества и сырого протеина адаптирован и валидирован для мясокостной и перьевой муки (Boisen & Fernández, 1997). Он снимает ограничения одноэтапного ГОСТ. Валидация подтвердила высокую правильность (recovery 98,5–102,5 %), прецизионность (Sr=1,8 %, SRw=2,5 %) и приемлемую расширенную неопределенность (U=±3,5 %). На коммерческих образцах выявлена сильная положительная корреляция между переваримостью сухого вещества и протеина для перьевой муки (r=0,958) и слабая положительная для мясокостной (r=0,348). Одноэтапный метод систематически занижает переваримость на 13–37 % относительно двухэтапных подходов. Модифицированный протокол (пепсин 6 ч + панкреатин 18 ч) согласуется с оригинальным для большинства образцов: разность ≤2,2 п.п. Исключение — перьевая мука, она требует дальнейшей оптимизации.

3. Экзогенные протеазы — высокоэффективный прием для повышения продуктивности бройлеров на рационах с мясокостной мукой. Особенно результативна комбинация (КЕМЗАЙМ® + Стеллар Про) в дозах 400–500 г/т комбикорма, то есть по 200–250 г/т каждого. В группах с комбинированными протеазами живая масса выросла на 5,1–6,0 %, конверсия корма (FCR) улучшилась на 8,7–9,9 % относительно контроля.

4. Снижение уровня сырого протеина в вегетарианских рационах на 2,0–2,5 п.п. с последующей прецизионной балансировкой кристаллическими аминокислотами достоверно повышает продуктивность. Наибольший синергетический эффект достигается при дополнительном включении комплекса протеаз (500 г/т): прирост живой массы 9,2%, улучшение FCR на 8,8%, увеличение EPEF на 20,3% (до 430,4). Применение подхода позволяет сократить долю соевого шрота на 24–27% без ущерба для роста.

Разработанные низкопротеиновые рационы улучшают мясные качества: абсолютная масса грудной мышцы увеличилась на 12,3%, бедренной – на 10,1%, при стабильном выходе потрошеной туши (66–67%). Выявлено увеличение массы печени (на 28,1%) и абдоминального жира (на 38,1%), что свидетельствует о метаболической перестройке. Стратегия физиологически безопасна: отсутствуют негативные отклонения в биохимических показателях крови; адаптивные тенденции (рост триглицеридов на 9,8%, кальция на 13,5%) коррелируют с улучшением усвояемости.

5. Доказан выраженный дозозависимый положительный эффект комбинированных протеаз в низкопротеиновых рационах с 6% перьевой муки. Включение количества протеаз в дозах 500 и 1000 г/т (по 250-500 г/т каждого) увеличило конечную живую массу до 3164 г (на 3,2%), улучшило FCR до 1,59 кг/кг (на 3,0–3,1%). Отсутствие протеаз в аналогичном рационе (группа I) снижало продуктивность. Наибольший интегральный эффект достигнут при дозе 1000 г/т: увеличение EPEF на 12,1% (до 432,3). Применение протеаз, особенно в дозе 1000 г/т, существенно улучшает органолептические качества мяса: увеличение общей дегустационной оценки, нежности (на 18,8% для красного мяса), сочности.

6. Выявлен ключевой физиологический механизм действия экзогенных протеаз – стимуляция эндогенной протеолитической активности в ЖКТ. Введение количества протеаз в дозах 500 и 1000 г/т достоверно увеличивало активность полостных ферментов в химусе тощей и подвздошной кишки на 18–27% и пристеночных пептидаз – на 70,3%, не влияя на синтетическую функцию поджелудочной железы. Это подтверждает причинно-следственную связь между ферментативной активацией, улучшением переваримости и ростом продуктивности.

7. Включение экзогенных протеаз в низкопротеиновые рационы, сбалансированные кристаллическими аминокислотами, достоверно повышает эффективность использования протеина. Доза 500 г/т дала максимальный рост переваримости сырого протеина — до 82,34 %. Азотный баланс заметно улучшился: ретенция азота достигла 66,77 %, эффективность его использования — 69,40 %.

8. Сбалансированные низкопротеиновые рационы с протеазами напрямую снижают азотную нагрузку на окружающую среду. Более полное использование протеина уменьшило экскрецию общего азота с помётом на 10,8 %, а содержание аммонийного азота — на 3,8 %. Причина — рост ретенции азота организмом на 10 % и повышение эффективности его использования до 69,40 %, что на 3 % выше контроля. Падение концентрации азотистых соединений в помёте подтверждает экологическую эффективность стратегии.

9. Производственная апробация низкопротеинового рациона, сбалансированного кристаллическими аминокислотами и комплексом протеаз, подтвердила результат: конечная живая масса выросла на 5,2 %, среднесуточный прирост — на 5,4 %, FCR улучшился на 3,7 %, выход

продукции с единицы производственной площади поднялся на 4,8 %, EPEF вырос на 6,8 % (до 447,9), сохранность поголовья достигла 97,9 %.

10. Производственная проверка подтвердила высокую экономическую эффективность. За 42-суточный цикл в новом варианте достигнуто увеличение конечной живой массы на 5,2% (3017 г против 2890 г), улучшение FCR на 3,7% (1,57 против 1,60 кг/кг), повышение сохранности до 97,9% и выхода мяса с 1 м² до 65,0 кг. Снижение стоимости комбикорма на 4,1% (24,92 руб./кг против 25,98 руб./кг) при росте производства позволило сократить затраты на корма на 29,1 тыс. руб. и повысить рентабельность по производственной цене на 7,8% и на 9,8% при реализации мяса бройлеров в виде тушек по потребительской цене.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для комплексного повышения продуктивности бройлеров, улучшения усвояемости питательных веществ и азотного метаболизма, а также снижения экологической нагрузки на окружающую среду рекомендуется внедрить следующую технологическую стратегию кормления бройлеров:

1. Внедрять низкопротеиновые рационы при снижении уровня сырого протеина в комбикормах на 1,5–2,0 % от рекомендованных норм.
2. Проводить обязательную аминокислотную балансировку, компенсируя снижение протеина прецизионным введением кристаллических аминокислот (лизин, метионин, треонин, валин, изолейцин, аргинин) для достижения идеального протеинового профиля.
3. Применять ферментные комплексы в форме комбинации (КЕМЗАЙМ+ Стеллар про), обогащая комбикорма комплексом протеаз в эффективной дозе от 500 до 1000 г/т (250 и 500 г/т).
4. Для достижения максимальной эффективности гидролиза белка рекомендуется использовать комбинацию протеазных от разных производителей. Данная стратегия позволяет расширить спектр ферментативной активности и перекрыть оптимальные диапазоны pH на протяжении всего желудочно-кишечного тракта птицы.
5. Проводить контроль качества сырья белкового для оценки переваримости используя методы in vitro и применять валидированную методу оценки эндогенных протеаз для контроля их качества.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Перспективными направлениями дальнейших научных изысканий, развивающими положения данной диссертации, представляются: углублённое изучение влияния синергетического комплекса протеаз и аминокислот на микробиоценоз желудочно-кишечного тракта, иммунный статус и морфофункциональное состояние кишечника птицы в условиях применения низкопротеиновых рационов с альтернативными источниками белка.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Хамви Мохамад Навар.** Эффективность использования комплекса протеаз и кристаллических аминокислот в низкопротеиновых рационах в стартовом и ростовом периодах в кормлении цыплят-бройлеров / **Хамви Мохамад Навар** // АгроЗооТехника. - Т. 9. - № 3. - DOI: 10.15838/alt.2026.9.3.5 URL: http://azt-journal.ru/article/30676.
2. **Хамви Мохамад Навар.** Влияние дозозависимого применения комплекса протеаз в низкопротеиновых рационах с перьевой мукой на продуктивность, мяса и физиологию пищеварения цыплят-бройлеров / **Хамви Мохамад Навар** // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. - 2026. - №4. - С.172-190.
3. **Хамви Мохамад Навар.** Низкопротеиновые рационы в мясном птицеводстве, обогащенные протеазами, как способ снижения экологической нагрузки/ **Хамви Мохамад Навар**, Н.П. Буряков, С.О. Шаповалов // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. - 2026. - № 6 (251). - С. 3–18.
4. **Хамви Мохамад Навар.** Модифицированный двухэтапный ферментативный гидролиз in vitro для оценки переваримости кормов животного происхождения/ **Хамви Мохамад Навар**, С.О. Шаповалов, Н.П. Буряков, Е.В. Корнилова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2026. - №2. – С. 66-73.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

5. **Хамви Мохамад Навар.** Эффективность использования протеазы в кормлении цыплят-бройлеров / **Хамви Мохамад Навар** // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича. Москва, 3–5 июня 2024 г. – М.: РГАУ-МСХА, 2024. – С. 233–236.
6. **Hamwi Mohamad Nawar.** Growth performance of broiler chickens on animal and vegetable diets / **Hamwi Mohamad Nawar** // Scientific Journal of Young Scientists. – 2024. – № 3 (38). – С. 22–25.
7. **Хамви Мохамад Навар.** Аминокислотное питание и метаболизм у цыплят-бройлеров / **Хамви Мохамад Навар** // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии. Москва, 2–4 июня 2025 г. – М.: РГАУ-МСХА, 2025. – С. 198–201.
8. **Хамви Мохамад Навар.** Использование различных протеаз и их концентраций в кормлении цыплят-бройлеров в рационах, содержащих мясокостную муку / **Хамви Мохамад Навар**, С.О. Шаповалов, Н.П. Буряков // Современное животноводство: задачи, проблемы, решение: материалы Национальной научно-практической конференции, г. Волгоград, 18 декабря 2025 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2026. – С. 228–234.
9. **Хамви Мохамад Навар.** Влияние добавки изолейцина в рацион на продуктивность, метаболическое здоровье и кишечную микробиоту у бройлеров / **Хамви Мохамад Навар,** С.О. Шаповалов // Современное животноводство: задачи, проблемы, решение: материалы Национальной научно-практической конференции,

г. Волгоград, 18 декабря 2025 г. – Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2026. – С. 234 – 240.

10. **Хамви Мохамад Навар.** Разработка и валидация спектрофотометрических методов определения активности протеаз в кормовых матрицах / **Хамви Мохамад Навар**, С.О. Шаповалов, Н.П. Буряков // Аграрная наука в обеспечении продовольственной безопасности и развитии сельских территорий: сб. мат. VII Международной науч.- практ. конференции (Луганск, 26 янв. – 10 февр. 2026 г.). – Луганск: Луганский ГАУ, 2026. – С. 213–215.

11. **Хамви Мохамад Навар.** Современные технологии производства и применения кормовых протеаз в кормлении сельскохозяйственных животных / **Хамви Мохамад Навар,** С.О. Шаповалов // Адаптивное кормопроизводство. – 2025. – № 2. – С. 54–66.

12. **Хамви Мохамад Навар.** Влияние низкопротеиновых рационов с добавлением синтетических аминокислот на продуктивность и белковый обмен цыплят-бройлеров / **Хамви Мохамад Навар** // Инновационные процессы в АПК : сборник статей XVIII Международной научно-практической конференции (Москва, 23–24 апреля 2026 г.) : в 2 т. / под ред. Э.А. Довлетяровой. – Москва: РУДН, 2026. – Т. I. – С. 135–140.

Монографии:

13. **Хамви Мохамад Навар.** Удовлетворение потребностей быстрорастущих цыплят-бройлеров и нильской тиляпии в разветвлённых аминокислотах и экзогенных протеазах / **Хамви Мохамад Навар,** Салех Хатем, Н.П. Буряков, С.О. Шаповалов // Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2026. – С. 299-319. – EDN IQAGTU. - DOI 10.46916/02062026-1-978-5-00215-476-0.