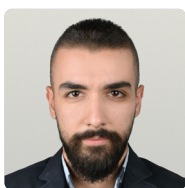


ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА ПРОТЕАЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АМИНОКИСЛОТ В НИЗКОПРОТЕИНОВЫХ РАЦИОНАХ В СТАРТОВОМ И РОСТОВОМ ПЕРИОДАХ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

© Хамви М.Н.



Мохамад Навар Хамви

Российский государственный аграрный университет –

МСХА имени К.А. Тимирязева

Москва, Российская Федерация

e-mail: Nawarhamwi95@mail.ru

ORCID: [0009-0001-1786-0862](https://orcid.org/0009-0001-1786-0862)

Актуальность исследования продиктована необходимостью повышения экономической эффективности и экологической устойчивости бройлерного производства. Ключевым направлением является оптимизация протеинового питания, а именно снижение доли дорогостоящего соевого шрота и общего уровня сырого протеина в рационах бройлеров без ущерба для продуктивности. Новизна работы заключается в комплексной оценке инновационной кормовой стратегии, которая сочетает три элемента: включение кукурузного глютена в качестве основного растительного протеинового компонента, прецизионную балансировку рациона по лимитирующим аминокислотам с помощью комплекса кристаллических аминокислот (лизин, метионин, треонин, валин, изолейцин), а также применение синергетического комплекса экзогенных протеаз (КЕМЗАЙМ и Lonct, по 250 г/т каждого) для повышения усвояемости растительного белка. В ходе 35-суточного научно-хозяйственного опыта на 300 цыплятах-бройлерах кросса Ross 308 было установлено, что снижение уровня сырого протеина на 2,0 процентных пункта в стартовый период и на 1,5 процентных пункта в период роста с последующей аминокислотной коррекцией достоверно повысило продуктивность. Наибольший синергетический эффект был достигнут в группе с дополнительным введением протеаз: к 35-му дню живая масса бройлеров увеличилась на 9,2% (до 2287 г), конверсия корма улучшилась на 8,8% (до 1,46 кг/кг), а абсолютная масса ценной грудной мышцы возросла на 12,3% при сохранении высокого выхода потрошеной туши (66–67%). Выявленные адаптивные изменения метаболизма, такие как увеличение массы печени и абдоминального жира, а также рост уровня триглицеридов в сыворотке крови не сопровождалась статистически достоверными негативными сдвигами по ключевым клинико-биохимическим параметрам (общий белок, активность печеночных ферментов), что подтверждает физиологическую безопасность применяемой кормовой стратегии. Таким образом, комбинированное использование кукурузного глютена, кристаллических аминокислот и протеазного комплекса в низкопротеиновых рационах представляет собой научно обоснованную, ресурсосберегающую и экологически ориентированную технологию для современного бройлерного производства, обеспечивающую значительный рост продуктивности птицы и эффективности использования корма.

Бройлеры, низкопротеиновый рацион, кристаллические аминокислоты, протеазы, кукурузный глютен, продуктивность, конверсия корма, вегетарианские комбикорма.

Введение

Интенсификация бройлерного производства в условиях глобальной конкуренции и ужесточающихся экологических требований активизирует постоянный поиск инновационных решений для снижения себестоимости конечной продукции и минимизации антропогенной нагрузки на окружающую среду (Mottet, Tempio, 2019). Ключевым фактором, определяющим как экономику производства, так и его экологический след, является кормление, а именно протеиновый компонент рациона. Традиционно для обеспечения потребностей быстрорастущей птицы в незаменимых аминокислотах используется значительное количество дорогостоящего соевого шрота, импорт которого сопряжен с волатильностью рынка, логистическими рисками и высокой стоимостью. Параллельно с экономическими вызовами существует биохимическая проблема: избыточное содержание сырого протеина (СП) в рационе, несбалансированного по прецизионному аминокислотному профилю, приводит к неэффективному использованию азота. Неусвоенные аминокислоты подвергаются дезаминированию, а выделяющийся избыточный азот выводится в основном в виде мочевой кислоты, что увеличивает нагрузку на окружающую среду и может негативно влиять на микроклимат птичников (Лысенко, Соколова, 2020).

В связи с этим стратегия контролируемого снижения уровня СП в комбикормах с последующей точной (прецизионной) балансировкой синтетическими (кристаллическими) аминокислотами признана одним из наиболее перспективных направлений в современной нутрициологии птицы (Kid, Tillmann, 2021; Ajaó, Olukosi, 2024). Современные исследования убедительно доказывают, что безопасное снижение СП на 10–16% относительно традиционных норм при условии полного

обеспечения потребности в лимитирующих аминокислотах не только не ухудшает, но зачастую улучшает продуктивные показатели за счет повышения эффективности утилизации азота и снижения метаболических затрат на его выведение (Belloir et al., 2021).

Однако успешная практическая реализация данной стратегии в рамках вегетарианских рационов, исключая компоненты животного происхождения, сталкивается с дополнительным вызовом – необходимостью компенсировать выпадающий объем протеина альтернативным, экономически доступным растительным источником, который, как правило, обладает неидеальным и трудноусвояемым аминокислотным составом. В данном контексте кукурузный глютен (побочный продукт переработки кукурузы) представляет значительный практический интерес как локально доступный ингредиент с высоким (до 60%) содержанием протеина. Тем не менее его широкое использование в низкопротеиновых схемах кормления лимитировано дисбалансом аминокислот (преимущественно по лизину и треонину) и относительно низкой переваримостью, что требует тщательной метаболической корректировки.

Дополнительным мощным инструментом для преодоления этих ограничений служат экзогенные ферменты, в частности протеазы. Их применение направлено на гидролиз пептидных связей в растительных белках и ингибиторах протеаз, тем самым повышая доступность аминокислот из сырья и потенциально нивелируя негативные эффекты, связанные со снижением общего уровня СП в рационе (Kid, Tillmann, 2021; Cowieson, Roos, 2022). Несмотря на наличие ряда публикаций, посвященных изучению эффективности протеаз или синтетических аминокислот по отдельности, их синергетический эффект в составе специфических раци-

онов на основе кукурузного глютена при умеренном снижении СП изучен недостаточно полно. Особенно это касается комплексной оценки, включающей не только продуктивность, но и физиологический статус птицы, мясные качества и биохимические показатели крови, что необходимо для доказательства безопасности и устойчивости такого подхода.

Таким образом, целью настоящего исследования стала комплексная оценка влияния умеренного снижения уровня сырого протеина в вегетарианских рационах на основе кукурузного глютена, сбалансированных комплексом синтетических аминокислот и обогащенных экзогенными протеазами, на продуктивные показатели, мясные качества, метаболический статус и общую эффективность выращивания бройлеров в критические периоды старта.

В соответствии с поставленной целью предстояло решить следующие задачи: разработать рецепты низкопротеиновых вегетарианских рационов для бройлеров на основе кукурузного глютена с сокращением доли соевого шрота и прецизионной балансировкой дефицита лимитирующих аминокислот (лизин, метионин, треонин, валин, изолейцин); в сравнительном аспекте оценить влияние трех схем кормления (стандартный рацион, низкопротеиновый рацион с аминокислотной коррекцией и такой же рацион с дополнительным включением комплекса экзогенных протеаз КЕМЗАЙМ + Lonct) на продуктивность бройлеров – живую массу, среднесуточный прирост, конверсию корма, потребление корма и сохранность; изучить мясную продуктивность птицы по результатам контрольного убоя (масса туши, грудных и бедренных мышц, внутренних органов, абдоминального жира);

проанализировать биохимические показатели сыворотки крови для выявления адаптивных изменений метаболизма бройлеров и подтверждения физиологической безопасности рационов, а также определить синергетический эффект совместного использования аминокислот и протеаз на фоне снижения сырого протеина с оценкой интегральной эффективности предложенной кормовой стратегии.

Материалы и методы

Научно-хозяйственный опыт продолжительностью 36 суток был проведен в 2024 году на базе вивария Волгоградского государственного аграрного университета в соответствии с правилами биоэтики¹. Объектом исследования служили 300 суточных цыплят-бройлеров кросса *Ross 308*, разделенных методом аналогов на три группы по сто голов. Условия содержания соответствовали рекомендациям для данного кросса². Контрольная группа (К) получала стандартный комбикорм с оптимальным уровнем сырого протеина: 21% (1–10 сут.) и 19% (11–35 сут.). I опытная группа получала низкопротеиновый рацион, где снижение уровня СП было достигнуто за счет сокращения доли соевого шрота и полной замены кормов животного происхождения на кукурузный глютен (60% СП). Дефицит аминокислот компенсировали вводом кристаллических L-лизина-HCl, DL-метионина, L-треонина, L-валина и L-изолейцина в соответствии с принципами прецизионного баланса (Hilliar, Hargreave, 2020). II опытная группа получала рацион, идентичный рациону I группы, но с добавлением комплекса экзогенных протеаз, состоящего из двух продуктов: КЕМЗАЙМ (250 г/т) и Lonct (250 г/т), что составило общую дозу 500 г/т корма.

¹ European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and Other Scientific Purposes (ETS No. 123). (1986). Strasbourg: Council of Europe. 35 p.

² Aviagen. (2022). Ross 308 Broiler: Nutrition Specifications. Aviagen Group. 42 p. Available at: https://aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-PlantProteinBasedBroilerNutritionSpecifications2022-EN.pdf

Характеристика ферментов: препарат «Стеллар Про» (Shandong Lonct Enzymes Co., Ltd., Китай) представляет собой мультикомпонентную протеазную систему, продуцируемую штаммами *Bacillus subtilis* и *Bacillus licheniformis*.

Состав ферментов: кислая протеаза (50 000 ед./г), щелочная протеаза (100 000 ед./г) и кератиназа (50 000 ед./г). Наличие кератиназы является ключевой характеристикой данного продукта, поскольку обеспечивает гидролиз трудно-расщепляемого кератина, входящего в состав перьевой муки (6% рациона). Термостабильность препарата (сохранение эффективности при 85 °С в течение трех минут) гарантирует его активность в условиях гранулирования комбикормов. Препарат КЕМЗЫМЕ™ Protease (Kemin Industries, Inc., США) представляет собой протеазный

комплекс на основе продуцента *Bacillus amyloliquefaciens*. Данный препарат характеризуется сбалансированным профилем трех типов протеолитической активности: кислая, нейтральная и щелочная протеазы, каждая из которых заявлена на уровне не менее 17 000 ед./г. Присутствие нейтральной протеазы является специфической особенностью этого препарата, дополняющей спектр действия «Стеллар Про». Термостабильность КЕМЗЫМЕ™ (85–90% сохранение активности при 80 °С в течение 3–5 минут) также позволяет использовать его в технологии производства гранулированных комбикормов.

Состав и питательность рационов представлены в табл. 1, 2. Содержание сырого протеина определяли по ГОСТ 32044.1-2012³; аминокислотный состав по ГОСТ 32195-2013⁴. Оценку убойных ка-

Таблица 1. Состав и питательность экспериментальных комбикормов

Компонент	Контроль		Опыт I		Опыт II	
	Старт	Рост	Старт	Рост	Старт	Рост
Пшеница	15,00%	19,56%	14,96%	19,52%	14,95%	19,51%
Кукуруза	53,47%	52,58%	53,47%	52,58%	53,47%	52,58%
Шрот соевый (СП 47%)	21,44%	17,52%	21,44%	17,52%	21,44%	17,52%
Кукурузный глютен	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%	6,00%
L-Изолейцин 90,5%	0,27%	0,30%	0,27%	0,30%	0,27%	0,30%
L-Валин 96,5%	0,23%	0,26%	0,23%	0,26%	0,23%	0,26%
Масло Подсолнечное	–	0,50%	–	0,50%	–	0,50%
Монохлоргидрат Лизина 98	0,37%	0,41%	0,37%	0,41%	0,37%	0,41%
DL-Метионин 98,5%	0,14%	0,11%	0,14%	0,11%	0,14%	0,11%
L-Треонин 98%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%	0,11%
Соль Поваренная	0,35%	0,35%	0,35%	0,35%	0,35%	0,35%
Монокальцийфосфат	0,51%	0,12%	0,51%	0,12%	0,51%	0,12%
Трикальцийфосфат	1,72%	1,82%	1,72%	1,82%	1,72%	1,82%
Сода Пищевая	0,14%	0,11%	0,14%	0,11%	0,14%	0,11%
Стеллар про (Lonct)	–	–	100,00 г/т	100,00 г/т	100,00 г/т	100,00 г/т
Кемзайм Протеаза (Kemin)	–	–	0,020%	0,020%	0,025%	0,025%
АКСТРА РНУ 10000	100,00 г/т	100,00 г/т	0,020%	0,020%	0,025%	0,025%

Источник: результаты исследований автора.

³ ГОСТ 32044.1-2012 (2013) Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания сырого протеина. Москва: Стандартинформ. 15 с.

⁴ ГОСТ 32195-2013 (2014) Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения аминокислот. Москва: Стандартинформ. 18 с.

Таблица 2. Характеристика комбикормов в группах с разным уровнем сырого протеина, аминокислот и ферментов

Компонент	Контроль		Опыт I		Опыт II	
	Старт	Рост	Старт	Рост	Старт	Рост
ОЭ птицы WPSA + Ф	306	313	306	313	306	313
ОЭ птицы WPSA	297	304	297	304	297	304
ОЭ птицы ТАБЛ	300	305	300	305	300	305
Сырой протеин + Ф	21,00	19,61	21,11	19,72	21,11	19,72
Сырой протеин	20,61	19,22	20,61	19,22	20,61	19,22
Сырой жир	2,98	3,46	2,98	3,46	2,98	3,46
Сырая клетчатка	3,28	3,11	3,27	3,11	3,27	3,10
Лизин	1,15	1,08	1,15	1,08	1,15	1,08
Метионин	0,48	0,43	0,48	0,43	0,48	0,43
Метионин + цистин	0,82	0,76	0,82	0,76	0,82	0,76
Треонин	0,83	0,76	0,83	0,76	0,83	0,76
Триптофан	0,21	0,19	0,21	0,19	0,21	0,19
Аргинин	1,12	1,01	1,12	1,01	1,12	1,01
Изолейцин	1,05	1,01	1,05	1,01	1,05	1,01
Лейцин	2,02	1,90	2,02	1,90	2,02	1,90
Валин	1,14	1,10	1,14	1,10	1,14	1,10

Источник: результаты исследований автора.

честв проводили в соответствии с ГОСТ 33222-2015⁵. В течение опыта ежедневно учитывали потребление корма и живую массу птицы, на основании чего рассчитывали среднесуточный прирост и конверсию корма (FCR). В 35-суточном возрасте от каждой группы отобрали по 15 птиц для контрольного убоя с определением массы туши, грудных и бедренных мышц, а также внутренних органов. Перед убоем у птиц брали 3 мл крови из подкрыльцовой вены. Биохимический анализ сыворотки (общий белок, мочевиная кислота, креатинин, кальций, фосфор, холестерин, триглицериды, активность АЛТ, АСТ, ЩФ) выполняли на анализаторе «Вектор-Бест» с использованием стандартных наборов реагентов. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета Statistica 10.0 (StatSoft, USA). Различия считали значимыми при $p < 0,05$. Результаты представлены как $M \pm m$ (Мартынова, 2019).

Результаты

Результаты исследований продемонстрировали, что стратегия умеренного снижения уровня сырого протеина с последующей прецизионной балансировкой синтетическими аминокислотами и применением протеаз оказала значимое положительное влияние на продуктивность и эффективность использования корма у бройлеров.

Данные по росту и кормовой конверсии за 35-дневный период выращивания представлены в *табл. 3*. Начальная живая масса цыплят во всех группах была статистически однородной (40,0 г), что создавало равные условия для последующего сравнения. К концу опытного периода наблюдалась выраженная положительная динамика. Наивысшие показатели были достигнуты во II опытной группе, где низкопротеиновый рацион, сбалансированный аминокислотами, был дополнен комплексом протеаз (КЕМЗАЙМ + Lonct). Живая масса птицы в этой группе соста-

⁵ ГОСТ 33222-2015 (2016) Мясо птицы. Методы определения убойных качеств. Москва: Стандартинформ. 20 с.

Таблица 3. Продуктивность бройлеров при скармливании низкопротеиновых рационов в возрасте 1–35 суток

Показатель	Контроль	I Опытная группа	II Опытная группа
Начальная живая масса, г	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
(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
* FCR – затраты корма на кг прироста, кг/кг. Источник: результаты исследований автора.			

вила 2287 г, что достоверно на 9,2% превышало контрольный показатель (2094 г), на 3,7% – результат в I опытной группе (2205 г), где использовались только аминокислоты. Эта прогрессия указывает на наличие четкого градиента эффекта в зависимости от состава рациона.

Аналогичная динамика отмечалась для среднесуточного прироста живой массы, которая последовательно увеличивалась от контроля ко II опытной группе, достигая максимума в 64,20 г/сут. Наиболее значимым с экономической точки зрения стало устойчивое улучшение конверсии корма (FCR). Данный показатель последовательно снижался от 1,60 кг/кг в контроле до 1,50 кг/кг в I группе и достиг минимального значения 1,46 кг/кг во II группе, что на 8,7% лучше контроля. При этом среднесуточное потребление корма достоверно не различалось между группами (около 93 г/сут.), что указывает на то, что улучшение FCR является следствием именно более эффективной трансформации корма в прирост, а не различий в его потреблении. Анализ данных с разделением по полу подтвердил общую тенденцию: как петушки, так и курочки в опытных группах превзошли по массе особей контрольной группы. Показатель сохранности поголовья во всех группах оставался на высоком и сопоставимом уровне (95,6–96,3%), свидетельствуя об

отсутствии негативного влияния модифицированных рационов на жизнеспособность птицы.

Результаты контрольного убоя в 36-суточном возрасте, представленные в табл. 4, наглядно демонстрируют влияние экспериментальных рационов на мясную продуктивность и развитие внутренних органов. Несмотря на снижение общего уровня сырого протеина, абсолютная масса наиболее ценных мясных частей была максимальной во II опытной группе. Так, масса грудной мышцы (*Pectoralis major*) достигла 360,66 г, что на 12,3% (39,65 г) больше, чем в контроле (321,01 г), а масса бедренных мышц составила 361,60 г, превысив контрольный показатель (328,34 г) на 10,1%. Выход потрошенной и полупотрошенной туши оставался стабильным и высоким во всех группах, варьируясь в пределах 66,3–67,0% и 70,2–71,5% от предубойной живой массы соответственно, что указывает на сохранение отличных убойных характеристик.

Анализ массы внутренних органов выявил ряд статистически достоверных изменений. Наиболее значимым стало увеличение абсолютной и относительной массы печени именно во II опытной группе: ее вес составил 54,20 г (2,37% от живой массы птицы), что на 28,1% больше, чем в контроле (42,30 г). Также в этой группе зафиксировано достоверное увеличение

Таблица 4. Мясная продуктивность и масса внутренних органов бройлеров в возрасте 36 суток

Показатель	Контроль	I опытная группа	II опытная группа
Масса потрошеной туши			
Относительный показатель, % от живой массы	66,5 ± 0,80	66,3 ± 0,24	67,0 ± 0,43
Абсолютный вес, г	1392,51	1461,92	1532,29
Масса полупотрошеной туши			
Относительный показатель, % от живой массы	70,6 ± 0,79	70,2 ± 0,29	71,5 ± 0,35
Абсолютный вес, г	1478,36	1547,91	1635,21
Масса грудной мышцы			
Относительный показатель, % от живой массы	15,33 ± 0,36	15,95 ± 0,44	15,77 ± 0,27
Абсолютный вес, г	321,01	351,70	360,66
Масса бедренной мышцы			
Относительный показатель, % от живой массы	15,68 ± 0,27	15,63 ± 0,30	15,81 ± 0,27
Абсолютный вес, г	328,34	344,64	361,60
Масса желудка			
Относительный показатель, % от живой массы	1,57 ± 0,09	1,45 ± 0,09	1,67 ± 0,05
Абсолютный вес, г	32,88	31,97	38,19
Масса сердца			
Относительный показатель, % от живой массы	0,455 ± 0,02	0,469 ± 0,02	0,462 ± 0,04
Абсолютный вес, г	9,53	10,34	10,57
Масса печени			
Относительный показатель, % от живой массы	2,02 ± 0,06	2,03 ± 0,11	2,37 ± 0,11 b
Абсолютный вес, г	42,30	44,76	54,20
Масса потрохов (совокупный вес)			
Относительный показатель, % от живой массы	4,04 ± 0,11	3,96 ± 0,16	4,50 ± 0,13 b
Абсолютный вес, г	84,60	87,32	102,92
Масса абдоминального жира			
Относительный показатель, % от живой массы	1,010 ± 0,08	0,939 ± 0,08	1,277 b
Абсолютный вес, г	21,15	20,70	29,21
Источник: результаты исследований автора.			

массы абдоминального жира до 29,21 г, что на 38,1% выше контроля, а также совокупной массы потрохов. Масса сердца и мышечного желудка не имела однонаправленной динамики, однако тенденция к увеличению абсолютного веса сердца коррелировала с большей живой массой птицы в опытных группах. Эти изменения свидетельствуют о глубоком влиянии комплексного подхода (особенно протеаз) на метаболические процессы и перераспределение питательных веществ в организме птицы.

Показатели биохимического анализа сыворотки крови, проведенного в 36-суточном возрасте, приведены в *табл. 5*. Ключевым выводом является отсутствие ста-

стистически достоверных различий между контрольной и опытными группами по подавляющему большинству клинически значимых параметров. Уровень общего белка, активность печеночных ферментов (АЛТ, АСТ, ГГТ) и концентрация общего билирубина оставались стабильными, что однозначно свидетельствует об отсутствии негативного влияния низкопротеиновых рационов, сбалансированных аминокислотами и ферментами, на белковосинтетическую функцию печени и ее структурную целостность. Вместе с тем анализ численных данных позволил выявить ряд устойчивых физиологических тенденций, отражающих адаптацию метаболизма к измененному питанию.

Таблица 5. Биохимические показатели сыворотки крови бройлеров в возрасте 36 суток

Биохимический показатель	Контроль	I опытная группа	II опытная группа
Общий белок, г/л	32,27 ± 1,34	32,36 ± 1,76	32,86 ± 1,35
Мочевая кислота, мкмоль/л	543,43 ± 13,54	509,18 ± 62,87	534,36 ± 45,23
Креатинин, мкмоль/л	35,34 ± 1,34	38,34 ± 2,23	29,23 ± 2,34
АЛТ (АЛаТ), ед./л	3,23 ± 1,34	3,45 ± 0,24	3,57 ± 0,78
АСТ (АСаТ), ед./л	144,43 ± 7,28	156,45 ± 2,46	145,34 ± 10,33
Щелочная фосфатаза (ЩФ), ед./л	3500,0 ± 255	3800,0 ± 335	3200,0 ± 283
Глутамилтрансфераза (ГГТ), ед./л	18,52 ± 1,24	20,34 ± 1,54	16,86 ± 1,46
Общий билирубин, мкмоль/л	3,4 ± 0,5	3,8 ± 0,6	3,1 ± 0,4
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ), ед./л	754,2 ± 45,0	788,1 ± 34,2	734,3 ± 42,6
Глюкоза, ммоль/л	11,03 ± 0,11	11,89 ± 0,17	12,02 ± 0,12
Кальций, ммоль/л	2,45 ± 0,11	2,75 ± 0,23	2,78 ± 0,47
Фосфор, ммоль/л	2,45 ± 0,02	2,62 ± 0,03	2,34 ± 0,03
Холестерин, ммоль/л	3,4 ± 0,11	3,9 ± 0,46	3,4 ± 0,77
Триглицериды, ммоль/л	1,32 ± 0,09	1,15 ± 0,13	1,45 ± 0,15

Источник: результаты исследований автора.

В I опытной группе, получавшей рацион только с аминокислотной коррекцией, отмечалась тенденция к снижению концентрации мочевой кислоты в сыворотке (примерно на 6,3% относительно контроля), что может косвенно указывать на повышение эффективности утилизации азота. Наиболее выраженные сдвиги наблюдались во II группе (с протеазами). Здесь зафиксирована тенденция к значимому снижению уровня креатинина (на 17,3%) и повышению концентрации кальция (на 13,5%). В липидном профиле этой же группы отмечена тенденция к росту уровня триглицеридов (на 9,8%), что находится в полной корреляции с достоверно увеличенной массой абдоминального жира. Концентрация фосфора демонстрировала разнонаправленную динамику. Эти адаптивные изменения в минеральном и липидном обмене, а также в маркерах азотистого метаболизма логично встраиваются в общую картину улучшенной усвояемости питательных веществ и повышенной метаболической активности, наблюдаемой в данной группе.

Полученные результаты демонстрируют, что стратегия умеренного снижения уровня сырого протеина в вегетарианских

рационах за счет частичной замены соевого шрота и использования кукурузного глютена является не только физиологически осуществимой, но и продуктивной при условии прецизионной балансировки по ключевым лимитирующим аминокислотам. Настоящее исследование подтверждает современный тренд, согласно которому продуктивность птицы определяется не общим количеством протеина, а доступностью сбалансированного профиля незаменимых аминокислот (Hilliar, Hargreave, 2020; Belloir et al., 2021). Увеличение живой массы и среднесуточного прироста в I опытной группе свидетельствует о том, что сокращение СП на 2,0–2,5% исключительно на первой и второй фазах кормления из трех. Наиболее выраженное улучшение всех ключевых продуктивных показателей (живая масса увеличена на 9,2%, среднесуточный прирост увеличен на 9,4%, FCR уменьшен на 8,75%) во II опытной группе свидетельствует о синергетическом эффекте от сочетания аминокислотной коррекции и применения протеазного комплекса (КЕМЗАЙМ + Lonct). Аналогичные данные о положительном влиянии протеаз в низкопротеиновых рационах были полу-

чены на бройлерах (Wealleans et al., 2024). Этот эффект можно объяснить действием двух взаимодополняющих механизмов. Во-первых, протеазы гидролизуют пептидные связи в нативных растительных белках кукурузного глютена и соевого шрота, повышая доступность как добавленных синтетических, так и эндогенных аминокислот (Cowieson, Roos, 2022; Kid, Tillmann, 2021). Недавние исследования также подтвердили, что добавление экзогенной протеазы в низкопротеиновый рацион улучшает рост и состояние кишечника бройлеров (Нао et al., 2025). Во-вторых, ферменты могут инактивировать антинутритивные факторы, такие как ингибиторы протеаз, присутствующие в растительном сырье, что дополнительно улучшает протеолитическую активность в желудочно-кишечном тракте птицы. Результатом является максимальная реализация потенциала прецизионно сбалансированного аминокислотного профиля, что на практике выражается в лучшей конверсии корма.

Существенное увеличение абсолютной массы грудных и бедренных мышц при стабильном выходе туши подтверждает, что питательные вещества в опытных группах (особенно в группе с протеазами) эффективно направлялись на синтез мышечного протеина. Это согласуется с концепцией идеального протеина, когда при сбалансированном аминокислотном соотношении снижается катаболизм избыточных аминокислот и повышается чистая эффективность использования протеина для роста (Kid, Tillmann, 2021).

Выявленные изменения в развитии внутренних органов, а именно достоверное увеличение массы печени и абдоминального жира во II опытной группе, требуют комплексной интерпретации. Увеличение массы печени на 28,1% может отражать ее повышенную метаболическую и детоксикационную нагрузку, связанную

с переработкой возросшего потока усвоенных аминокислот, активацией процессов глюконеогенеза из аминокислотных предшественников и, возможно, адаптивным увеличением размеров гепатоцитов. Рост отложения абдоминального жира, коррелирующий с тенденцией к повышению уровня триглицеридов в крови, является прямым следствием улучшенной усвояемости не только аминокислот, но и энергетических компонентов рациона (крахмала, липидов) под действием ферментного комплекса. Это свидетельствует, что протеазы, увеличивая общую переваримость рациона, могут смещать баланс в сторону повышенного липогенеза в условиях отсутствия дефицита аминокислот и энергии. Данный аспект важен для дальнейшей тонкой настройки энергопротеинового соотношения в подобных рационах.

Крайне важным с точки зрения безопасности применяемой стратегии является отсутствие статистически достоверных негативных сдвигов в базовых биохимических показателях крови (общий белок, активность печеночных ферментов). Это доказывает, что наблюдаемая интенсификация метаболизма не сопровождалась функциональными нарушениями или повреждениями ключевых органов. Наблюдаемые тенденции (снижение мочевины в I группе, повышение кальция и снижение креатинина во II группе) носят адаптивный характер и отражают перестройку азотистого и минерального обмена в ответ на изменение качества протеинового питания и повышение его усвояемости. Не было отмечено увеличения уровня глюкозы в крови во всех группах, исходя из этого протеазы и кристаллические аминокислоты не оказывают существенного влияния на углеводный обмен.

Таким образом, представленные данные доказывают, что разработанный подход, сочетающий снижение доли соевого

шрота, введение кукурузного глютена, прецизионную балансировку синтетическими аминокислотами и усиление ферментативной активности протеазами, представляет собой научно обоснованную, эффективную и безопасную кормовую стратегию. Она позволяет повысить экономику производства за счет снижения себестоимости рациона и улучшения конверсии корма, одновременно способствуя значительному снижению экологической нагрузки за счет более эффективного использования азота и уменьшения его экскреции.

Повышение эффективности использования азота является ключевым фактором снижения экскреции азотистых соединений в окружающую среду, что согласуется с современными данными о влиянии низкопротеиновых рационов на снижение выделения азота (Askri et al., 2025).

Выводы

Результаты исследования показывают, что умеренное снижение уровня сырого протеина в вегетарианских рационах для бройлеров на 2,0 и 1,5 п. п. в фазы старта и роста соответственно, достигнутое за счет сокращения доли соевого шрота и полной замены перьевой муки на кукурузный глютен (60% СП), с последующей прецизионной компенсацией дефицита кристаллическими лизином, метионином, треонином, валином и изолейцином является эффективной стратегией, достоверно повышающей продуктивность: живая масса птицы увеличивается на 5,3%, а конверсия корма улучшается на 6,3% к 35-дневному возрасту.

Добавление к сбалансированному низкопротеиновому рациону комплекса экзогенных протеаз (КЕМЗАЙМ + Lonct, по 250 г/т) обеспечивает выраженный синергетический эффект, приводя к мак-

симальному увеличению всех ключевых продуктивных показателей: прирост живой массы достигает 9,2%, среднесуточный прирост возрастает на 9,4%, а конверсия корма улучшается на 8,75% относительно контроля, что свидетельствует о значительном повышении эффективности использования питательных веществ корма.

Применение низкопротеиновых рационов с аминокислотной балансировкой и комплексом протеаз способствует направленному синтезу мышечной ткани, что выражается в значительном увеличении абсолютной массы наиболее ценных мясных частей: масса грудной мышцы возрастает на 12,3% (39,65 г), а бедренной – на 10,1% (33,26 г) по сравнению с контролем при сохранении высокого и стабильного выхода потрошеной туши на уровне 66–67%.

Использование протеазного комплекса вызывает глубокую адаптивную перестройку метаболизма, проявляющуюся в достоверном увеличении массы печени на 28,1% и абдоминального жира на 38,1%, а также в физиологической тенденции к росту уровня триглицеридов и кальция в сыворотке крови, что указывает на интенсификацию обменных процессов и улучшение общей усвояемости рациона.

То, что предложенная кормовая стратегия является физиологически безопасной, подтверждается отсутствием негативных отклонений в ключевых биохимических показателях крови (общий белок, активность печеночных ферментов). Она обладает высокой практической значимостью, позволяя снизить себестоимость рациона за счет сокращения доли дорогостоящего соевого шрота и существенно уменьшить азотистую нагрузку на окружающую среду благодаря повышению эффективности конверсии протеина.

ЛИТЕРАТУРА

- Лысенко Ю.А., Соколова М.Н. (2020). Биотехнология добавки микробного происхождения и эффективность ее применения в птицеводстве // Основы и перспективы органических биотехнологий. № 4. С. 14–29.
- Мартынова Е.Н. (2019). Современные методы статистической обработки результатов зоотехнических экспериментов: монография. Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. 150 с.
- Ajao A.M., Olukosi O.A. (2024). Apparent ileal amino acid digestibility, gut morphometrics, and gene expression of peptide and amino acid transporters in broiler chickens fed low-crude-protein diets supplemented with crystalline amino acids with soybean meal, canola meal, or corn DDGS as protein feedstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104, 4189–4200. DOI: 10.1002/jsfa.13300
- Askri A., de Rauglaudre T., Létourneau-Montminy M.-P., Alnahhas N. (2025). Impact of low crude protein diets containing animal byproducts on growth performance, nitrogen excretion, meat yield, and quality in broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 105, 1–10. DOI: 10.1139/cjas-2024-0087
- Belloir P. [et al.]. (2021). Reducing the CP content in broiler feeds: impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal*, 15, 1, 100–110.
- Cowieson A.J., Roos F.F. (2022). The efficacy of protease enzymes in poultry nutrition: a meta-analysis. *Poultry Science*, 101, 3, 101–115. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101115
- Hao X., Zhang G., Ge Y., Wang J., Yang W. [et al.]. (2025). Effects of low-protein diet supplemented with exogenous protease on growth performance and intestinal health of broiler chickens. *Czech Journal of Animal Science*, 70, 4, 147–159. DOI: 10.17221/18/2025-CJAS
- Hilliari M., Hargreave G. (2020). Using crystalline amino acids to support low-protein diets for broilers. *World Poultry*, 36, 4, 22–25.
- Kid M.T., Tillmann P.B. (2021). Key principles concerning dietary amino acid responses in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 30, 2, 100–112.
- Mottet A., Tempio G. (2019). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73, 2, 245–256.
- Wealleans A.L., Abo Ashour R., Abu Ishmais M.A., Al-Amaireh S., Gonzalez-Sanchez D. (2024). Comparative effects of proteases on performance, carcass traits and gut structure of broilers fed diets reduced in protein and amino acids. *Journal of Animal Science and Technology*, 66, 3, 457–470. DOI: 10.5187/jast.2024.e15

Сведения об авторе

Мохамад Навар Хамви – аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: Nawarhamwi95@mail.ru)

EFFICIENCY OF A PROTEASE COMPLEX AND CRYSTALLINE AMINO ACIDS IN REDUCED-PROTEIN DIETS DURING THE STARTER AND GROWER PERIODS IN BROILER CHICKEN FEEDING

Hamwi M.N.

The relevance of this study stems from the need to enhance the economic efficiency and environmental sustainability of broiler production. A key direction is the optimization of protein

nutrition, specifically reducing the proportion of expensive soybean meal and the overall crude protein level in broiler diets without compromising productivity. The novelty of this work lies in a comprehensive evaluation of an innovative feeding strategy that combines three elements: the inclusion of corn gluten as the primary plant-based protein component, precision balancing of the diet for limiting amino acids using a complex of crystalline amino acids (lysine, methionine, threonine, valine, isoleucine), and the application of a synergistic complex of exogenous proteases (KEMZYME and Lonct, 250 g/t each) to enhance the digestibility of plant protein. A 35-day scientific feeding trial conducted on 300 Ross 308 broiler chickens established that reducing crude protein by 2.0 percentage points during the starter period and by 1.5 percentage points during the grower period, followed by amino acid correction, significantly improved productivity. The greatest synergistic effect was achieved in the group with additional protease supplementation: by day 35, live body weight increased by 9.2% (to 2287 g), feed conversion ratio improved by 8.8% (to 1.46 kg/kg), and the absolute weight of the valuable pectoral muscle increased by 12.3%, while maintaining a high dressed carcass yield (66–67%). The observed adaptive metabolic changes, such as an increase in liver weight and abdominal fat, as well as elevated serum triglyceride levels, were not accompanied by statistically significant negative shifts in key clinical and biochemical parameters (total protein, liver enzyme activity), confirming the physiological safety of the feeding strategy employed. Thus, the combined use of corn gluten, crystalline amino acids, and a protease complex in reduced-protein diets represents a scientifically sound, resource-saving, and environmentally oriented technology for modern broiler production, ensuring a significant increase in poultry productivity and feed efficiency.

Broilers, reduced-protein diet, crystalline amino acids, proteases, corn gluten, productivity, feed conversion ratio, vegetarian compound feeds.

REFERENCES

- Ajao A.M., Olukosi O.A. (2024). Apparent ileal amino acid digestibility, gut morphometrics, and gene expression of peptide and amino acid transporters in broiler chickens fed low-crude-protein diets supplemented with crystalline amino acids with soybean meal, canola meal, or corn DDGS as protein feedstuffs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104, 4189–4200. DOI: 10.1002/jsfa.13300
- Askri A., de Rauglaudre T., Létourneau-Montminy M.-P., Alnahhas N. (2025). Impact of low crude protein diets containing animal byproducts on growth performance, nitrogen excretion, meat yield, and quality in broiler chickens. *Canadian Journal of Animal Science*, 105, 1–10. DOI: 10.1139/cjas-2024-0087
- Belloir P. et al. (2021). Reducing the CP content in broiler feeds: Impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal*, 15(1), 100–110.
- Cowieson A.J., Roos F.F. (2022). The efficacy of protease enzymes in poultry nutrition: A meta-analysis. *Poultry Science*, 101(3), 101–115. DOI: 10.1016/j.psj.2021.101115
- Hao X., Zhang G., Ge Y., Wang J., Yang W. et al. (2025). Effects of low-protein diet supplemented with exogenous protease on growth performance and intestinal health of broiler chickens. *Czech Journal of Animal Science*, 70(4)6 147–159. DOI: 10.17221/18/2025-CJAS
- Hilliari M., Hargreave G. (2020). Using crystalline amino acids to support low-protein diets for broilers. *World Poultry*, 36(4), 22–25.
- Kid M.T., Tillmann P.B. (2021). Key principles concerning dietary amino acid responses in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 30(2), 100–112.
- Lysenko Yu.A., Sokolova M.N. (2020). Biotechnology of microbial additives and the effectiveness of its use in poultry farming. *Osnovy i perspektivy organicheskikh biotekhnologii*, 4, 14–29 (in Russian).

Martynova E.N. (2019). *Sovremennye metody statisticheskoi obrabotki rezul'tatov zootekhnicheskikh eksperimentov: monografiya* [Modern Methods of Statistical Processing of the Results of Zootechnical Experiments: Monograph]. Volgograd: FGBOU VO Volgogradskii GAU.

Mottet A., Tempio G. (2019). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245–256.

Wealleans A.L., Abo Ashour R., Abu Ishmais M.A., Al-Amaireh S., Gonzalez-Sanchez D. (2024). Comparative effects of proteases on performance, carcass traits and gut structure of broilers fed diets reduced in protein and amino acids. *Journal of Animal Science and Technology*, 66(3), 457–470. DOI: 10.5187/jast.2024.e15

Information about the author

Mohamad Nawar Hamwi – graduate student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Street, Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: Nawarhamwi95@mail.ru)