Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 69–76
Agrarian Scientific Journal. 2025;(11):69–76

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ
4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология

Научная статья
УДК 636.52/.58:636.087.7:612.3
https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp69-76

Интенсивность кишечного пищеварения цыплят-бройлеров при использовании альтернативных источников протеина

Светлана Владимировна Карамушкина, **Владимир Георгиевич Вертипрахов**
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
e-mail: sveta.vetmed@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследования ферментативной активности дуоденального химуса и сыворотки крови цыплят-бройлеров при включении в основной рацион соевого фуража (сырой протеин 16,15 %) и соевой окары (сырой протеин 29,58 %) как альтернативных источников белка. Анализ проб химуса проводился через 60 и 120 мин после кормления, дополненный биохимическим анализом крови. В результате установлено, что соевая окара усиливает протеолиз, повышая активность трипсина в химусе до 600–1200 ед./л (на 20–85 % выше, чем при фураже), количество мочевой кислоты в крови до 0,157 ммоль/л и общего белка до 41,79 г/л. Фуражные соевые отходы снижают активность трипсина до 780,1 ед./л и амилазы до 60211 ед./л из-за содержания антипитательных факторов, что угнетает метаболизм белка. Корреляционный анализ выявил сильную положительную связь между мочевой кислотой и общим белком в крови (r = 0,792, p < 0,001), подтверждая зависимость интенсивности кишечного пищеварения от состава рациона. Соевая окара в отличие от фуражных отходов значительно стимулирует пищеварение, как термически обработанный продукт. Полученные данные расширяют знания о физиологических механизмах кишечного пищеварения, подчеркивая потенциал окары как эффективного белкового источника в птицеводстве.

Ключевые слова: ферментативная активность, отходы соевого производства, фистульный метод, дуоденальный химус, сыворотка крови, цыплята-бройлеры, обмен веществ, корреляционный анализ

Для цитирования: Карамушкина С. В., Вертипрахов В. Г. Интенсивность кишечного пищеварения цыплят-бройлеров при использовании альтернативных источников протеина // Аграрный научный журнал. 2025. № 11. С. 69–76. https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp69-76.

ZOOTECHNICS AND VETERINARY MEDICINE

Original article

Intestinal digestion intensity of broiler chickens using alternative protein sources

Svetlana V. Karamushkina, Vladimir G. Vertiprakhov
Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiriazev, Moscow, Russia
e-mail: sveta.vetmed@mail.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the enzymatic activity of duodenal chyme and blood serum in broiler chickens when soybean meal (crude protein 16.15 %) and soybean okara (crude protein 29.58 %) were included in the main diet as alternative sources of protein. Chyle samples were analyzed 60 and 120 minutes after feeding, supplemented by biochemical blood analysis. The results showed that soybean meal enhances proteolysis: increasing trypsin activity in chyme to 600–1200 units/L (20–85 % higher than with feed), the amount of uric acid in the blood to 0.157 mmol/L, and total protein to 41.79 g/L. Feed soybean waste reduces trypsin activity to 650 units/L and amylase activity to 71079.96 units/L due to the content of anti-nutritional factors, which inhibit protein metabolism. Correlation analysis revealed a strong positive relationship between uric acid and total protein in the blood (r = 0.792, p < 0.001), confirming the dependence of the intensity of intestinal digestion on the composition of the diet. Soybean okara, unlike feed waste, significantly stimulates digestion as a heat-treated product. The data obtained expand our knowledge of the physiological mechanisms of intestinal digestion, highlighting the potential of okara as an effective protein source in poultry farming.

Keywords: enzymatic activity, soybean waste, fistula method, duodenal chyme, blood serum, broiler chickens, metabolism, correlation analysis

For citation: Karamushkina S. V., Vertiprakhov V. G. Intestinal digestion intensity of broiler chickens using alternative protein sources. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2025;(11):69–76. (In Russ.). https://doi.org/10.28983/asj.y2025i11pp69-76.

Введение. Повышение продуктивности и снижение себестоимости продукции – важнейшие задачи АПК, которые невозможно решить без использования дополнительных белковых добавок в рационе сельскохозяйственных животных и птицы. В качестве основных источников белка в рационах птицы используются продукты переработки сои (соевый шрот и экструдированная соя), которые значительно улучшают конверсию корма [8]. Для снижения себестоимости производства мяса в рационы включают альтернативные источники протеина. Добавление в комбикорм 10 % рапсовой муки является эффективным источником жира и способствует активному росту бройлеров и снижению затрат кормов при высоком качестве мяса. Использование рапсового жмыха и рапсовой муки способствует снижению стоимости кормов, израсходованных на единицу прироста, что повышает рентабельность производства мяса бройлеров [18]. Учитывая рост цен на сырье и необходимость поиска альтернативных источников качественного кормового белка, применение люпина термической обработки в рационах кур-несушек представляет большой практический интерес [1].

Использование вышеперечисленных кормов в качестве белковой добавки обусловлено высоким содержанием в них протеинов. Способность организма кур усваивать полученный растительный белок и включать его в обмен веществ зависит от функциональной активности органов пищеварения. При замене компонентов рациона необходимо учитывать функциональные особенности адаптации панкреатической секреции у животных с разным типом пищеварения, поскольку секреторная функция поджелудочной железы и переваримость корма коррелируют, что, в свою очередь, влияет на продуктивность животных [2].

Большая роль в переваривании и усвоения белкового компонента корма принадлежит протеолитической активности пищеварительных соков [3]. В.Г. Вертипраховым описывается возможность использования протеолитичесого фермента трипсина как биомаркера белкового обмена веществ [4]. Интенсивность пищеварения при использовании белковых добавок отражается на биохимическом составе сыворотки крови. Обогащение рационов кур соевой окарой способствует повышению белкового обмена, уровню глюкозы, кальция и фосфора в их крови и снижению показателей азотистого обмена [11, 17]. Анализ ферментативной активности сыворотки крови позволяет оценить уровень всех видов обмена питательных веществ [19].

Следует отметить, что исследования базируются в основном на зоотехнических методах и не дают полного представления о механизмах метаболизма питательных веществ при введении в рацион белковых добавок. Имеющиеся данные, касающиеся процессов пищеварения в полости пищеварительного канала, недостаточны и противоречивы. Применение фистульного метода дает возможность получать материал для исследования на разных этапах пищеварения в определенные временные промежутки после кормления. Данная технология позволяет проследить метаболический путь питательного вещества вплоть до мономера и оценить интенсивность ферментативных процессов в пищеварительном канале.

Исследования интенсивности процессов пищеварения в кишечнике цыплят-бройлеров при использовании соевого фуража и соевой окары с содержанием сырого протеина 16,15 и 29,58 % как альтернативных источников белка ранее в научных трудах не освещались. Более глубокое изучение механизмов пищеварения при использовании альтернативных источников протеина позволит не только расширить кормовые ресурсы, снизить себестоимость и улучшить экологию производства, но и получить более глубокие фундаментальные знания о процессах пищеварения.

Цель данной работы – изучение интенсивности кишечного пищеварения при использовании альтернативных источников протеина (соевого фуража и соевой окары) в рационах цыплят-бройлеров.

Материалы и методы. Исследования проводили в 2024 г. в научной лаборатории кафедры физиологии, этологии и биохимии животных РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Об интенсивности процессов пищеварения при использовании в качестве белковой добавки отходов производства сои судили по ферментативной активности дуоденального химуса и сыворотке крови в различные фазы панкреатической секреции.

Для проведения хронического физиологического эксперимента с целью получения дуоденального химуса было прооперировано по вживлению фистулы 12-перстной кишки 20 голов цыплят-бройлеров кросса Смена-9 в 15-суточном возрасте [5]. Восстановительный послеоперационный период составил 5 суток. Исследования проводили методом групп-периодов. Из фистулированной птицы сформировали по методу аналогов 2 группы по 10 голов в каждой. Эксперимент продолжался 10 суток. Обе группы цыплят-бройлеров в течение контрольного (фонового) периода получали комбикорм РОСТ ПК 5-2, в состав которого в качестве белковой добавки входило 15 % соевого шрота. Замену соевого шрота на отходы соевого производства осуществляли из расчета питательности по протеину, сухому веществу и обменной энергии [16]. Первая опытная группа (О1) получала рацион с заменой соевого шрота на соевый фураж (24 %), вторая группа (О2) в качестве белковой добавки получала соевую окару (16 %).

Оптимальный размер частиц компонентов в кормах для бройлеров подбирали в зависимости от возраста и пола птицы (например, для петухов крупнее, чем для кур), ее состояния здоровья, формы корма и используемого сырья (например, в кормах на основе кукурузы частицы крупнее, чем на основе пшеницы). Для молодняка необходимый средний размер частиц 900–1100 мк, для возрастной птицы – 1100–1500 мк [10].

Применение отходов в нативном виде в качестве корма для птицы оказалось невозможным из-за слишком крупных частиц (соевый фураж) и вязкой консистенции (соевая окара). Поэтому соевый фураж измельчали при помощи зернодробилки Фермер ИЗЭ-14М 7USM-IZE14M (размер частиц 1 мм), а соевую окару лиофилизировали в лиофильной сушилке ERSTEVAK EV-DF10A-SM, степень разряжения 5 Па, температура 56 °С для получения абсолютно сухой массы (15 % от начального веса).

Отбор дуоденального химуса проводили ежедневно в сложнорефлекторную фазу панкреатической секреции (через 60 мин) и в гуморальную фазу (через 120 мин) после кормления предварительно голодной птицы (12-часовая голодная диета) [6].

Кровь для исследований брали в вакуумные пробирки с активатором свертывания из подкрыльцовой вены натощак, в начале и конце каждого экспериментального периода.

Активность трипсина в пробах дуоденального химуса и сыворотки крови определяли методом В.Г. Вертипрахова (2018). Активность панкреатической амилазы, панкреатической липазы и щелочной фосфатазы исследовали на полуавтоматическом биохимическом анализаторе BS-3000M (Sinnowa, КНР) с использованием наборов биохимических реагентов для ветеринарии ДиаВетТест (ООО ДИАВЕТ, Россия). Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе BioChem FC-120 (High Technology, Inc., США) с набором реактивов указанной компании.

Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики с помощью программы Microsoft Excel. Для статистической оценки использовали t-критерий Стьюдента. Результаты считались достоверно значимыми при $p<0,05$. Для выявления взаимосвязи между биохимическими показателями дуоденального химуса и крови рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона.

Результаты исследований. Динамика изменения активности ферментов дуоденального содержимого в разные фазы панкреатической секреции позволяет оценить, как вкусовую привлекательность корма [12], так и его питательный состав (таблица 1).

Активность трипсина через 60 мин после приема корма в опытном периоде у цыплят, как первой, так и второй опытных групп, была достоверно ниже этого показателя в контрольный период в 1,9–1,2 раза. Однако через 120 мин (гуморальная фаза секреции) уровень активности трипсина при введении в рацион соевой окары приближался к значениям контрольного периода и достоверной разницы не имел, в то время как при добавлении соевого фуража разница составила 103 ед./л (в пользу соевого шрота).

Активность щелочной фосфатазы в контрольном периоде в обе фазы секреции держалась на достаточно высоком уровне, в сложнорефлекторную фазу превышала этот показатель у цыплят, получавших соевый фураж, на 46 % и соевую окару на 38 %, а в гуморальную фазу – на 59 и 41 % соответственно.

Уровень липолитической активности дуоденального химуса цыплят-бройлеров в опытной период при введении в рацион, как соевого фуража, так и соевой окары превышал показатель контрольного периода через 60 мин на 40 %, а через 120 мин – на 60 %.

Таблица 1– Ферментативная активность дуоденального содержимого цыплят-бройлеров при использовании в качестве альтернативных источников протеина отходов соевого производства

Table 1 – Enzymatic activity of duodenal contents of broiler chickens when using soybean waste as alternative protein sources

Показатель, ед./л	Период исследования					
	контрольный		опытный			
			О1		О2	
	60 мин	120 мин	60 мин	120 мин	60 мин	120 мин
Трипсин	1530,0±58,9	2092,2±136,4	780,1±77,0*	1060,4±70,6*	1244,3±58,8*	2231,1±152,3
Щелочная фосфатаза	5025,3±139,4	5045,4±160,6	2737,1±172,1*	2111,3±164,2*	3127,1±209,1*	3004, 3±210,9*
Липаза	191,3±7,7	343,4±33,3	458,2±24,7*	554,1±50,1*	458,1±30,0*	554,3±26,3*
Амилаза	78512±6779	98600±2602	60211±6518	65494±9166*	25472±3226*	57291±3571*

* p<0,05 уровень достоверности при сравнении с контрольным периодом.

Изменения со стороны амилолитической активности кишечного химуса у птицы первой опытной группы через 60 мин после кормления не имели достоверной разницы с контролем, а через 120 мин были ниже контрольного уровня на 34 %. При введении в рацион соевой окары (О2) в сложнорефлекторную фазу секреции активность амилазы была ниже контрольного уровня в 3 раза, а в гуморальную фазу – в 1,7 раза.

Интенсивность процессов пищеварения в кишечнике отражалась и на биохимическом составе крови, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 2– Биохимический состав сыворотки крови цыплят-бройлеров при различных белковых добавках

Table 2 – Biochemical composition of blood serum of broiler chickens under different protein supplements

Показатель	Период исследования		
	контрольный	опытный	
		О1	О2
Трипсин, ед./л	71,3±6,07	27,6±12,3*	95,5±5,11*
Щелочная фосфатаза, ед./л	931±46,1	714±66,1*	912±44,8
Щелочная фосфатаза/Трипсин, ед./л	13,1	30,5*	9,5
Амилаза, ед./л	1288±115,5	640±48,4*	811±59,8*
Липаза, ед./л	5,8±0,19	2,9±0,15*	4,0±0,09*
Триглицериды, ммоль/л	0,32±0,024	0,16±0,020*	0,17±0,005*
Мочевая кислота, ммоль/л	108,5±4,93	57,7±11,76*	147,0±12,8*
Общий белок, г/л	42,1±0,81	36,9±1,09*	41,9±3,35

* p<0,05 уровень достоверности при сравнении с контрольным периодом.

По данным таблицы 2, наибольшая активность трипсина наблюдалась во второй опытной группе. У цыплят, получавших в качестве белковой добавки соевую окару, активность трипсина была в 3,5 раза выше, чем при кормлении соевым фуражом, и в 1,3 раза, чем при добавлении соевого шрота.

Уровень щелочной фосфатазы в сыворотке крови цыплят первой опытной группы был ниже контроля на 24 %, в то время как данный показатель во второй опытной группы достоверной разницы с контролем не имел.

Наиболее высокий показатель фосфатазно-протеазного соотношения наблюдали у цыплят, в рацион которых вводили соевый фураж: в 2,4 раза выше контрольного значения и в 3,2 раза выше значения второй опытной группы.

Анализируя амилолитическую активность, можно отметить снижение этого показателя в опытный период в первой группе на 51 %, во второй – на 37 %. Активность панкреатической липазы сыворотки крови цыплят-бройлеров в контрольный период исследования была выше на 50 %, чем в первой опытной группе, и на 32 %, чем во второй опытной группе.

Исследование содержания метаболитов в сыворотке крови птицы показало наибольший уровень мочевой кислоты при использовании в качестве белковой добавки соевой окары. Данный показатель превышал контрольные значения в 1,3 раза, а значения второй опытной группы в 2,5 раза. В то время как значения общего белка при использовании шрота и окары достоверных различий не имели, а при использовании соевого фуража снижались на 13 %.

Триглицериды как продукт жирового обмена веществ в опытный период были на 50 % ниже контроля.

Функциональную зависимость интенсивности кишечного пищеварения и биохимического состава крови при применении различных белковых добавок в рационе цыплят-бройлеров отражает анализ коэффициента корреляции (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между активностью ферментов дуоденального химуса в разные фазы секреции и сыворотки крови цыплят-бройлеров, *n* = 20

Table 3 – Correlation coefficients between duodenal chyme enzyme activity in different phases of secretion and blood serum of broiler chickens, *n* = 20

Показатель		Дуоденальный химус							
		сложнорефлекторная фаза				гуморальная фаза			
		трипсин	щелочная фосфатаза	амилаза	липаза	трипсин	щелочная фосфатаза	амилаза	липаза
Сыворотка крови	трипсин	0,729	–	–	–	0,969	–	–	–
	щелочная фосфатаза	–	0,601	–	–	–	0,785	–	–
	панкреатическая амилаза	–	–	0,525	–	–	–	0,902	–
	панкреатическая липаза	–	–	–	–0,927	–	–	–	–0,927
	мочевая кислота	0,667	–	–		0,944	–	–	–

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что наиболее высокая статистическая вероятность взаимосвязи между ферментативной активностью сыворотки крови и дуоденальным содержимым наблюдается в гуморальную фазу панкреатической секреции. Коэффициент корреляции приближается к 1 по показателям активности трипсина и панкреатической амилазы. В сложнорефлекторную фазу наблюдается прямая средняя связь между показателями активности щелочной фосфатазы (0,601) и активности панкреатической амилазы (0,525).

Липолитическая активность сыворотки крови и дуоденального химуса выражает статистически высокую отрицательную зависимость и в сложнорефлекторную, и в гуморальную фазы секреции.

Корреляционный анализ между активностью трипсина в дуоденальном химусе и мочевой кислотой в сыворотке крови цыплят-бройлеров в сложнорефлекторную фазу выявляет прямую среднюю (0,667), а в гуморальную фазу прямую высокую (0,944) взаимосвязь.

Применение в качестве белковых добавок отходов соевого производства влияет на интенсивность кишечного пищеварения цыплят-бройлеров, что отражается на ферментативной активности дуоденального сока в разные фазы постпрандиального периода.

Наибольшую активность трипсина через 60 мин после кормления наблюдали при использовании соевого шрота. Термически обработанный соевый продукт обладает большей вкусовой привлекательностью для птицы, стимулирует хемо- и механорецепторы, расположенные в переднем отделе пищеварительного канала. Полученный результат подтверждается исследованиями, посвященными использованию трипсина в качестве маркера для оценки вкусовой привлекательности корма [7].

Однако на 120-й мин постпрандиального периода наиболее высокую активность трипсина наблюдали в рационе с использованием соевой окары. Она также является продуктом термической обработки и содержит в своем составе большое количество свободных аминокислот, образовавшихся в процессе переработки [11]. Всасываясь напрямую в кровь, они активизируют гуморальную фазу панкреатической секреции, что отражается в более высокой активности трипсина и панкреатической липазы.

У цыплят первой опытной группы, получавших соевый фураж, наблюдали угнетение протеолитической активности химуса, как в сложнорефлекторную, так и в гуморальную фазы секреции. Данная кормовая добавка не проходит термической обработки и содержащиеся в ней некондиционные соевые бобы повышают антипитательные свойства [13]. Было обнаружено, что некоторые из 17 растительных белков перевариваются не полностью (соевый шрот, рапсовый шрот и горох в рационе), а другие – идентифицированы как ингибиторы протеазы (соевый шрот и горох в рационе) [15].

Высокая амилолитическая активность дуоденального химуса у цыплят-бройлеров в контрольный период исследований объясняется содержанием в соевом шроте относительно большого количества БЭВ (27,8 %), тогда как в соевой окаре этот показатель ниже в 2 раза (14,5 %), а в соевом фураже – в 1,5 раза (18,9 %). Данные, полученные в ходе исследования амилолитической активности дуоденального сока, полностью согласуются с результатами научных работ по вопросу адаптации поджелудочной железы к составу корма [14]. Результаты исследований активности амилолитических ферментов в плазме крови мясных цыплят имели противоположную тенденцию по сравнению с показателями в кишечнике. В плазме крови цыплят-бройлеров активность амилазы была снижена по сравнению с показателями у молодняка материнской и отцовской линий. Активность липазы и протеазы в плазме имела незначительные различия. Эти результаты согласуются с гипотезой энтеропанкреатической циркуляции пищеварительных ферментов. Наблюдение за наличием ферментов поджелудочной железы в крови подтверждает вывод о том, что они могут всасываться в кровоток, попадать в поджелудочную железу через кровь и многократно секретироваться в кишечник, не расщепляясь на аминокислоты [9].

Исследование биохимического состава крови позволило сделать вывод не только о функциональном состоянии поджелудочной железы, но и о процессах усвоения питательных веществ организмом цыплят.

Данные активности трипсина в сыворотке крови при различных белковых добавках коррелировали с дуоденальным химусом и указывали на более интенсивный процесс пищеварения при введении в рацион соевой окары. Наиболее высокую статистическую вероятность наблюдали в гуморальную фазу панкреатической секреции.

Уровень амилолитической активности также подтвердил корреляционную зависимость между сывороткой крови и дуоденальным содержимым, полученным через 120 мин после кормления. Данный показатель указывал на более низкое содержание переваримых углеводов в соевой окаре и соевом фураже по сравнению со шротом.

В отношении активности панкреатической липазы были получены неоднозначные результаты. Между показателями дуоденального химуса и сывороткой крови цыплят-бройлеров отмечали высокую отрицательную корреляционную связь. При высоком уровне липолитической активности в полости кишечника наблюдали снижение активности фермента в сыворотке крови. Возможно, липаза может дополнительно секретироваться стенкой кишечника и при образовании комплекса субстрат-фермент долгое время оставаться в полости кишечника, не всасываясь в кровь. Для подтверждения выдвинутой гипотезы необходимо исследовать кровь в динамике через определенные временные промежутки после кормления, а также изучить состав кишечного сока в разные фазы постпрандиального периода (Метод Тири).

Количество в сыворотке крови мочевой кислоты как основного метаболита протеинов соответствует активности трипсина при добавлении в корм цыплятам-бройлерам различных белковых добавок. Такая же тенденция просматривается и в ряде научных работ при изучении интенсивности обменных процессов [20]. Полученные данные согласуются с выводами о том, что трипсин можно рассматривать не только как маркер вкусовой привлекательности корма, но и как показатель активности метаболизма белков [17].

Так как соевый фураж впервые рассматривали как возможный альтернативный кормовой ресурс, то считаем необходимым в последующем исследовать его антипитательный состав. Это поможет снизить вредное воздействие на питательность данного вида корма и состояние пищеварительной системы цыплят-бройлеров.

Заключение. В результате проведенных исследований было установлено, что из предложенных альтернативных источников белка наиболее интенсивно процессы пищеварения проходят при использовании соевой окары, что выражается в увеличении активности трипсина и количества мочевой кислоты в сыворотке крови.

В результате корреляционного анализа выявлены статистически значимые связи между показателями ферментативной активности дуоденального химуса, полученного в гуморальную фазу панкреатической секреции, и сывороткой крови цыплят-бройлеров при использовании в рационах кормления отходов соевого производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев Б. В., Алиева Э. Н., Бочкарева Е. В. Термообработанный люпин в рационах кур-несушек кросса Ломанн Браун-Классик // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 64–68. DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp64-68. EDN CJCCED.

2. Адаптация панкреатической секреции и метаболизма у животных с разным типом пищеварения при замене белкового компонента рациона / В. И. Фисинин [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 6. С. 1122–1134. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.6.1122rus. EDN QTBLGC.

3. Брайан Д. Характеристики переваривания источников белка в организме бройлеров // Птицеводство. 2019. Т. 98. № 8. С. 3313–3325.

4. Вертипрахов В. Г., Селионова М. И., Малородов В. В. Трипсин – новый маркер метаболизма у животных // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. Биологические науки. 2023. № 1. С. 53–58. DOI: 10.26897/2949-4710-2023-1-53-58.

5. Вертипрахов В. Г. Физиология кишечного пищеварения у кур (экспериментальный подход). М., 2022. 175 с. ISBN: 978-5-9675-1887-4. EDN VCFFIY.

6. Вертипрахов В. Г. Влияние условно-рефлекторного фактора на экзокринную функцию поджелудочной железы цыплят-бройлеров // Морфология и физиология сельскохозяйственных животных: сб. науч. тр.; Благовещенский сельскохозяйственный институт. Благовещенск, 1989. С. 115–119. EDN XWHDVX.

7. Класснер Г. Г., Горб С. С. Применение сои в кормах // Новая наука: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2016. № 5-2 (79). С. 91–93.

8. Корм из экструдированной сои в рационах бройлеров / Т. Н. Ленкова [и др.] // Птицеводство. 2020. № 11. С. 22–26. DOI: 10.33845/0033-3239-2020-69-11-22-26. EDN QQRKFY.

9. Коротько Г. Ф. Рециркуляция ферментов пищеварительных // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2011. Т. 21. № 4. С. 14–21. EDN OCBMTB.

10. Крайс А. Размер частиц и форма комбикорма для бройлеров // Комбикорма. 2020. № 3. С. 28–29. EDN AUCLFO.

11. Морфофункциональные изменения в органах пищеварения свиней под влиянием продукта переработки сои – окары / С. В. Карамушкина [и др.] // Перспективы развития аграрных наук: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, Чебоксары, 10 апреля 2020. Чебоксары, 2020. С. 71–72. EDN HNRRKJ.

12. Новый способ определения вкусовых и питательных свойств белого люпина в кормах цыплят-бройлеров / В. Г. Вертипрахов [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 4 (205). С. 61–68. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-61-68. EDN NPWDRX.

13. Питательная ценность сортов сои, гороха, фасоли и содержание в них антипитательных веществ / В. И. Возиян [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2013. № 1. С. 26–29. EDN QCSQJN.

14. Реакция пищеварения цыплят-бройлеров на соевый шрот и жмых (ЭкоСоя) / Д. Д. Беззубенко [и др.] // Ветеринария и кормление. 2024. № 3. С. 22–26. DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-3-3. EDN HHPPHO.

15. Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Кодацкий Ю. А. Закономерности массообменных процессов при переработке семян сои в корм // Аграрный научный журнал. 2016. № 5. С. 70–73. EDN VXOVLT.

16. Руководство по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы / В. И. Фисинин [и др.]. 2-е изд., дораб. и доп.; Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства. Сергиев Посад, 2014. 155 с. ISBN: 978-5-906592-15-6. EDN QZCXBY.

17. Силова Н. В., Дежаткина С. В. Соевая окара в питании кур // Наука в современных условиях: от идеи к внедрению. 2013. № 1. С. 87–89. EDN QCTJYJ.

18. Совершенствование протеинового и энергетического питания цыплят-бройлеров / Я. В. Василюк [и др.] // Зоотехническая наука Беларуси. 2006. Т. 41. С. 138–145. EDN XSHSPX.

19. Association of total and pancreatic serum amylase enzymatic activity with insulin resistance and the glucose and insulin responses to oral starch test in Mexican children / D. Locia-Morales, M. Vázquez-Moreno, R. González-Dzib,

C. Domínguez-Hernández, A. Pérez-Herrera, R. Robles-Ramírez, A. Rocha-Cruz, D. Meyre, E. Flores-Alfaro, M. Cruz // Pediatric Obesity. 2022. Vol. 17. DOI: 10.1111/ijpo.12965.

20. Ovchinnikova Intestinal digestion in poultry in comparison with other animal species under a varied diet / I. V. Kuzmina et al. // Frontiers in Physiology. 2024. Vol. 15. DOI: 10.3389/fphys.2024.1358524. PMID 38449787; PMCID PMC10915087.

REFERENCES

1. Ageev B. V., Alieva E. N., Bochkareva E. V. Heat-treated lupine in the diets of Lohmann Brown-Classic laying hens. *Agrarian Scientific Journal*. 2021;(11): 64–68. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2021i11pp64-68. EDN CJCCED.

2. Adaptation of pancreatic secretion and metabolism in animals with different digestion types under replacement of dietary protein component / V. I. Fisinin , V. G. Vertiprakhov, E. L. Kharitonov, A. A. Grozina. *Agricultural Biology*. 2019;54(6):1122–1134. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.6.1122rus. EDN QTBLGC.

3. Brian D. Characteristics of protein source digestion in broilers. *Ptitsevodstvo*, 2019;98(8):3313–3325. (In Russ.).

4. Vertiprakhov V. G., Selionova M. I., Malorodov V. V. Trypsin — a new marker of metabolism in animals. IzvestiaTimiryazev Agricultural Academy. Biological Sciences, 2023;(1): 53–58. (In Russ.). DOI: 10.26897/2949-4710-2023-1-53-58.

5. Vertiprakhov V. G. Physiology of intestinal digestion in chickens (experimental approach). Moscow; 2022. 175 p. ISBN: 978-5-9675-1887-4. (In Russ.). EDN VCFFIY.

6. Vertiprakhov V. G. Influence of conditioned-reflex factor on exocrine function of pancreas of broiler chickens. In Morphology and Physiology of Farm Animals: Collection of Scientific Papers; Blagoveshchensk Agricultural Institute. Blagoveshchensk; 1989. P. 115–119. (In Russ.). EDN XWHDVX.

7. Klasner G. G., Gorb S. S. Application of soybean in feed. In New Science: Problems and Prospects: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference Ufa; 2016. No. 5-2 (79). P. 91–93. (In Russ.).

8. Extruded soybean feed in broiler diets / T. N. Lenkova, T. A. Egorova, L. M. Kashporov, I. G. Sysoeva. *Ptitsevodstvo.* 2020;(11):22–26. (In Russ.). DOI: 10.33845/0033-3239-2020-69-11-22-26. EDN QQRKFY.

9. Korotko G. F. Recirculation of digestive gland enzymes. *Russian Journal of Gastroenterology, Hepatology and Coloproctology*. 2011;21(4):14–21. (In Russ.). EDN OCBMTB.

10. Krais A. Particle size and shape of mixed fodder for broilers. *Kombikorma*. 2020;(3):28–29. (In Russ.). EDN AUCLFO.

11. Morphofunctional changes in pig digestive organs under the influence of soybean processing product – okara / S. V. Karamushkina, O. V. Gruzdova, E. V. Kuryatova, A. V. Kornilova. In Perspectives of Agrarian Sciences Development: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Cheboksary; 2020. P. 71–72. (In Russ.). EDN HNRRKJ.

12. A new way of determining the flavor and nutritional properties of white lupine in the feed of broiler chickens / V. G. Vertiprakhov, N. A. Sergeenkova, D. D. Bezzubenko, S. I. Polina. *Vestnik KrasGAU*. 2024;(4):61–68. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-61-68. EDN NPWDRX.

13. Nutritive value of soybean, pea, bean varieties and the content of anti-nutritive substances in them / V. I. Voziyan, M. G. Taran, M. D. Yakobutsa, L. P. Avadeniy. *Grain Legumes and Cereal Crops*. 2013;(1):26–29. (In Russ.). EDN QCSQJN.

14. Digestive response of broiler chickens to soybean meal and cake (EcoSoya) / D. D. Bezzubenko, V. G. Vertiprakhov, N. A. Sergeenkova, V. V. Eremenko. *Veterinary Medicine and Feeding*. 2024;(3):22–26. (In Russ.). DOI: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-3-3. EDN HHPPHO.

15. Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Kodatsky Yu. A. Laws of mass transfer processes in the processing of soybean seeds for fodder. *Agrarian Scientific Journal*. 2016;(5):70–73. (In Russ.). EDNVXOVLT.

16. Guide to optimization of compound feed recipes for poultry / V. I. Fisinin et al. 2nd ed., revised and expanded); All-Russian Scientific Research and Technological Institute of Poultry Farming. SergievPosad; 2014. 155 p. (In Russ.). ISBN: 978-5-906592-15-6. EDN QZCXBY.

17. Silova N. V., Dezhatkina S. V. Soybean okara in poultry nutrition. *Science in Modern Conditions: From Idea to Implementation*. 2013; (1):87–89. (In Russ.). EDN QCTJYJ.

18. Improvement of protein and energy nutrition of broiler chickens / Ya. V. Vasilyuk, V. P. Kravtsevich, I. A. Verkhovtseva, A. V. Malets. *Zootechnical Science of Belarus*. 2006;41:138–145. (In Russ.). EDN XSHSPX.

19. Association of total and pancreatic serum amylase enzymatic activity with insulin resistance and the glucose and insulin responses to oral starch test in Mexican children / D. Locia-Morales, M. Vázquez-Moreno, R. González-Dzib, C. Domínguez-Hernández, A. Pérez-Herrera, R. Robles-Ramírez, A. Rocha-Cruz, D. Meyre, E. Flores-Alfaro, M. Cruz. *Pediatric Obesity*. 2022;17. DOI: 10.1111/ijpo.12965.

20. Ovchinnikova Intestinal digestion in poultry in comparison with other animal species under a varied diet / I. V. Kuzmina, S. M. Tolpygo, A. V. Kotov, B. B. Shoibonov, T. S. Zamolodchikova. *Frontiers in Physiology*. 2024;15. DOI: 10.3389/fphys.2024.1358524. PMID 38449787; PMCID PMC10915087.

Статья поступила в редакцию 21.02.2025; одобрена после рецензирования 28.03.2025; принята к публикации 03.04.2025.
The article was submitted 21.02.2025; approved after reviewing 28.03.2025; accepted for publication 03.04.2025.