

УДК: 612.124:636.5+636.5.085.13
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2026.1.160

ИЗМЕНЕНИЯ АМИНОКИСЛОТНОГО ПРОФИЛЯ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ ПРИ ЗАМЕНЕ ЧАСТИ РАЦИОНА НА СЕМЕНА РАПСА

Колесник Н.С. – к.б.н., с.н.с. лаборатории фундаментальных основ питания с.-х. животных и рыб (ORCID: 0000-0002-4267-5300); **Зайцев С. Ю.** – д.х.н., д.б.н., в.н.с. отдела физиологии и биохимии с.-х. животных (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Воронина О. А.** – к.б.н., с.н.с. отдела физиологии и биохимии с.-х. животных (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Савина А.А.** – н.с. отдела физиологии и биохимии с.-х. животных (ORCID 0000-0003-0257-1643).

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста»

* s.y.zaitsev@mail.ru

Ключевые слова: аминокислотный состав, сыворотка крови, цыплята-бройлеры, рапс, фистула.

Key words: amino acid composition, blood serum, broiler chickens, rapeseed, fistula.

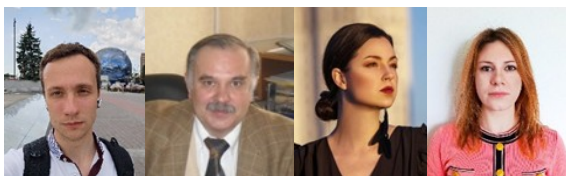
Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант №25-16-00095 (от 30.05.2025 г.).

Благодарности: Авторы благодарны д.б.н., проф. Вертинпрахову В.Г. (зав. каф. физиологии, этологии и биохимии животных, ФГБОУ ВО РГАУ — МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва) за большую помощь в работе.

Поступила: 23.12.2025

Принята к публикации: 05.03.2026

Опубликована онлайн: 01.04.2026



АННОТАЦИЯ

Сбалансированный по аминокислотному составу «протеин» является ключевым элементом в кормлении сельскохозяйственной птицы, необходимым для интенсивного роста и высокой продуктивности. Дефицит лимитирующих

аминокислот (АК) в рационе неизбежно приводит к нарушениям обмена веществ, замедлению темпов роста и снижению продуктивных качеств птицы. Белки рапса хорошо сбалансированы по аминокислотному составу, по содержанию лизина приближаются к сое, а по метионину и цистеину, кальцию и фосфору значительно превосходят её. Целью данной работы является оценка влияния замены части корма семенами рапса в количестве 25-75% от рациона цыплят-бройлеров на аминокислотный профиль организма. В эксперименте задействовано 4 группы фистульных цыплят-бройлеров кросса Смена 9 (N=20, n=5): А – основной рацион (ОР) с сырым жиром (СЖ) 5%; В – ОР с 25% семян рапса (СР) (9,5% СЖ); С – ОР с 50% СР (19% СЖ); D – ОР с 75% СР (28,5% СЖ). Ами-

ноктислотный анализ сыворотки крови проводили методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией нингидрином. Введение семян рапса в рацион бройлеров способствовало достоверному ($p \leq 0,05$) увеличению содержания в крови цыплят опытных групп Вал, Гли, Сер, а также выраженному повышению уровня Арг, Ала, Цис, Мет и Лиз. 2-ая группа характеризуется наибольшим содержанием ряда функциональных аминокислот: Асп, Тре, Сер, Глу, Гли, Ала, Вал и Лей, однако соотношение суммы незаменимых АК к заменимым было наилучшим в 4-ой группе, что обусловлено большим содержанием Мет, Иле, Гис, Лиз и Арг наряду с меньшей концентрацией ряда заменимых АК. Таким образом, замена в рационе цыплят-бройлеров зерновой части на семена рапса в количестве 25-75% оказывает выраженное влияние на общий аминокислотный профиль крови.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

В настоящее время аминокислоты (АК), как одни из наиболее важных биологически-активных веществ (БАВ), активно изучаются в мире. Это связано с колоссальным биологическим значением аминокислот в жизнедеятельности человека и животных, а также - в природе в целом. Аминокислоты выполняют целый ряд функций, необходимых для стабильной работы организма. Это элементарная единица для построения всех белковых молекул организма, от белков, формирующих мышечные ткани до гормонов белковой природы. Отдельные аминокислоты выступают в роли нейромедиаторов, например, глутаминовая кислота – которая отвечает за процессы, связанные с обучением и памятью, тирозин используются как основа для синтеза дофамина, норадреналина и адреналина. Аминокислоты учувствуют в углеводном, липидном и водно-солевом обменах [1,2]. При этом, некоторые аминокислоты могут непосредственно снабжать энергией мышечную ткань, из чего следует, что уникальные биологические функции аминокислот позволяют организму, расти, развиваться и нормально функционировать на протяжении всей жизни, так как они «незаменимы во всех процессах жизнедеятельности» [3,4].

Было обнаружено, что ряд аминокислот с разветвленной цепью (например, изолейцин, лейцин и валин) способствуют росту мышечной ткани, усиливают развитие кишечника и активно участвуют в регуляции иммунного ответа [5]. Имеются данные о том, что некоторые свободные аминокислоты (т.е. не связанные

в белковые молекулы), а также их производные могут выступать в роли регуляторных факторов для соединения основных метаболических процессов в организме животных и человека [5]. Например, метаболиты аланина, 4-гидроксипролина, тирозина, метионина и т. д. связаны с циклом Кребса, который является связующим для многих метаболических путей [4,6].

Сбалансированный по аминокислотному составу «протеин» (имеется ввиду суммарное содержание всех белков) является ключевым элементом в кормлении сельскохозяйственной птицы, необходимым для интенсивного роста и высокой продуктивности. Критическое значение имеет баланс рациона бройлеров по лимитирующим аминокислотам: метионину, лизину, треонину, триптофану, валину [7]. Дефицит лимитирующих аминокислот в рационе неизбежно приводит к нарушениям обмена веществ, замедлению темпов роста и снижению продуктивных качеств птицы. Лучшее понимание потребностей организма бройлеров в определенных аминокислотах позволит оптимизировать рецепты комбикормов и снизить избыток сырого протеина в них, что приведет к уменьшению затрат на производство кормов, выбросов азота в окружающую среду, а также улучшению продуктивности [8,9].

В рамках данной работы был поставлен эксперимент с частичной заменой зерновой части рациона цыплят-бройлеров семенами. Поскольку рапс относится к важнейшим масличным кормовым культурам, так как содержат до 50% жира и 23% сырого протеина в своем

составе [10]. Кроме того, объемы его производства на территории Российской Федерации нарастают [11]. Белки рапса хорошо сбалансированы по аминокислотному составу, по содержанию лизина приближаются к сое, а по метионину и цистину, кальцию и фосфору значительно превосходят её.

Целью данной работы является оценка влияния семян рапса в количестве 25-75% от зерновой части рациона цыплят-бройлеров на аминокислотный профиль организма.

MATERIALS AND METHODS / МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в 2025 году на кафедре физиологии, этологии и биохимии животных МСХА имени К. А. Тимирязева и в лаборатории физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Условия содержания животных (температурный, влажностный световой режимы и газовый состав воздуха в помещении) в исследуемые периоды были одинаковы и в пределах зооигиенических норм. Протокол исследования на животных был одобрен биоэтической комиссией ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста (протокол № 2, от 20 марта 2023 года). Эксперименты проведены с соблюдением требований, изложенных в

Директиве Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22 сентября 2010 года о защите животных, использующихся для научных целей и принципам обращения с животными, согласно статье 4 ФЗ РФ N 498-ФЗ.

Подготовка к эксперименту. В эксперименте задействовано 4 группы цыплят-бройлеров кросса Смена 9. Все задействованные в эксперименте цыплята предварительно прооперированы с целью постановки кишечной фистулы. Канюлю вживляли в двенадцатиперстную кишку 20 цыплятам-бройлерам 15-20-суточного возраста по методу Вертипрахова (2022) в участок кишки напротив впадения панкреатических протоков. Данная методика позволяет получать дуоденальный химус, состоящий преимущественно из панкреатического сока и желчи и отражает регуляторные процессы, происходящие в поджелудочной железе в до- и постпрандиальный период, а также при введении кормовых добавок и различных биологически активных веществ.

Схема эксперимента. Предварительно фистулированные цыплята были разделены на 4 группы, по 5 голов в каждой. 1 группа – контрольная и 3 опытных группы, в рацион которых вводили семена рапса, согласно схеме в таблице 1.

Таблица 1-Схема опыта по изучению влияния разного количества семян рапса на аминокислотный профиль цыплят-бройлеров

Рацион	Группа			
	А	В	С	Д
ОР	100%	75%	50%	25%
СР	Без добавления	+25,0%	+50,0%	+75%

Примечание: ОР – основной рацион, комбикорм полнорационный для бройлеров ПК-5-2, СР – семена рапса, А – 1 контрольная группа, В – 2 опытная группа, С – 3 опытная группа, Д – 4 опытная группа.

Кровь получали от цыплят утром (натощак) из подкрыльцовой вены в пробирки для морфологического и биохимического анализа. Сыворотку отделяли центрифугированием в течение 5 мин при 5000 об/мин (лабораторная центрифуга СМ-12, Россия).

Определение концентрации аминокислот в сыворотке крови осуществлялось методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией проб нингидрином. Для этого в отделе физиологии и биохимии с/х животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста имеется си-

стема высокоэффективной жидкостной хроматографии LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония), оснащенная реакционным модулем для пост-колоночной дериватизации нингидрином АРМ-1000 (Sevko&Co, Россия) и колонка с ионообменной смолой (Sevko&Co, Россия) [4]. Для подготовки проб к анализу использовали кислый гидролиз в 6 N HCl для разложения белков на отдельные аминокислоты с добавлением норлейцина в качестве внутреннего стандарта. Гидролиз выполняли в фторопластовых стаканах с завинчивающейся крышкой (СЕМ, США), в термостате при 110 °С в течение 24 часов. Для определения серосодержащих аминокислот (метионин, цистеин) пробы перед гидролизом обрабатывались смесью для окисления (надмуравьиная кислота с фенолом в качестве консерванта). Триптофан разрушается в процессе кислотного гидролиза, а потому нами не определялся. аспарагин и глутамин в условиях гидролиза переходят в соответствующие кислоты и на хроматограмме определяются вместе с аспарагиновой и глутаминовой кислотами соответственно. Отношение незаменимых аминокислот к заменимым рассчитывали путём деления сумм соответствующих аминокислот.

Обработку полученных результатов выполняли в программах «R» и Microsoft Excel с расширенным пакетом анализа данных. Данные по аминокислотному профилю крови цыплят проверялись на нормальность распределения по методу Шапиро-Уилка и однородность дисперсии тестом Левена. Далее проводили однофакторный дисперсионный анализ с последующей процедурой попарных сравнений по Тьюки-Крамеру [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

Основные результаты по изучению влияния разного уровня семян рапса в рационе на общий аминокислотный состав крови цыплят-бройлеров кросса Смена 9 представлены в таблице 2.

Для большинства аминокислот за исключением аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, глицина, тирозина и пролина прослеживается чёткая тенден-

ция к увеличению их содержания в крови цыплят опытных групп относительно контроля. Линейный рост концентрации аргинина, вероятно, взаимосвязан с такими факторами, как увеличение общего белка и некоторое снижение липидных показателей крови. Так, в работе Смуглова Е.П. (2015) сообщается, что аргинин способствует снижению уровня общего холестерина и триглицеридов [13,14]. Аналогично, в крови возрастает содержание ряда незаменимых аминокислот: фенилаланина, лизина, тирозина, метионина, изолейцина, лейцина.

Стоит отметить близкую к достоверной разницу по содержанию аланина в 1 и 2 группах (0,182 г/100мл против 0,209 г/100мл, $p = 0,069$). Также наблюдается достоверная ($p = 0,012$) разница по уровню глицина в опытных группах, причем во 2-ой группе этот показатель максимальный (0,148 г/100мл), а в 3-ей и 4-ой группах линейно снижается (0,139 и 0,119 г/100мл соответственно). Глицин участвует в синтезе порфиринов, инозиновой кислоты – предшественника пуриновых нуклеотидов в составе нуклеиновых кислот, глутатиона, а также является нейромедиатором. Аналогичная достоверная ($p = 0,006$) тенденция характерна для серина, что объясняется тесной взаимосвязью и взаимными превращениями этих протеиногенных аминокислот [15].

Валин был максимальным во 2-ой и 3-ей группах (0,198 г/100мл) и был достоверно выше ($p = 0,006$) 1-ой и 4-ой групп. В кормлении бройлеров валин является четвертой лимитирующей аминокислотой после метионина, лизина и треонина [8]. Сообщается, что дефицит валина в комбикорме снижает прирост живой массы цыплят, конверсию корма, а также может приводить к развитию аномалий оперения и ног [8].

Количество лизина в крови также линейно возрастало в опытных группах относительно контроля (от 0,203 г/100мл в контроле до 0,266 г/100мл в группе 4о). Лизин является незаменимой АК, необходимой для синтеза всех белков организма, включая ферменты способствует улучше-

нию пищеварения, воспроизводительной функции и мясной продуктивности. Как незаменимая аминокислота, лизин играет фундаментальную роль в биохимических процессах: служит субстратом для синтеза коллагена, вовлечён в биогенез карнитина (ключевого транспортера жирных

кислот в митохондриях, где они включаются в процессы β -окисления). активизирует процессы гемопоеза, повышает эффективность кишечной абсорбции ионов кальция. Также лизин модулирует белковый обмен и поддерживает нейротрофические функции нервной системы [16].

Таблица 2- Общий аминокислотный профиль крови бройлеров кросса Смена 9 (N=20, n=5, M \pm m)

Показатель, г/100мл	A	B	C	D	p - значение	Межгрупповые различия
Асп	0,349 \pm 0,004	0,370 \pm 0,022	0,368 \pm 0,027	0,338 \pm 0,029	0,600	
Тре	0,159 \pm 0,004	0,178 \pm 0,008	0,171 \pm 0,012	0,164 \pm 0,001	0,319	
Сер	0,191\pm0,001	0,226\pm0,013	0,209\pm0,015	0,202\pm0,003	0,006	AB, AC, BC, BD
Глу	0,552 \pm 0,004	0,590 \pm 0,039	0,582 \pm 0,034	0,543 \pm 0,043	0,575	
Гли	0,133 \pm 0,007	0,148\pm0,005	0,139\pm0,008	0,119\pm0,009	0,012	BD, CD
Ала	0,182\pm0,004	0,209\pm0,015	0,191 \pm 0,009	0,185 \pm 0,005	0,069	AB
Цис	0,086 \pm 0,005	0,098 \pm 0,017	0,097 \pm 0,006	0,142 \pm 0,043	0,223	
Вал	0,180\pm0,003	0,198\pm0,008	0,198\pm0,013	0,185\pm0,002	0,006	AB, AC, BD, CD
Мет	0,078 \pm 0,003	0,086 \pm 0,012	0,087 \pm 0,008	0,124 \pm 0,036	0,234	
Иле	0,112 \pm 0,001	0,119 \pm 0,003	0,127 \pm 0,011	0,133 \pm 0,008	0,216	
Лей	0,279 \pm 0,002	0,307 \pm 0,013	0,303 \pm 0,017	0,282 \pm 0,004	0,188	
Тир	0,172 \pm 0,012	0,166 \pm 0,014	0,189 \pm 0,008	0,173 \pm 0,009	0,243	
Фен	0,187 \pm 0,002	0,207 \pm 0,006	0,214 \pm 0,012	0,204 \pm 0,002	0,027	
Гис	0,079 \pm 0,003	0,078 \pm 0,003	0,088 \pm 0,010	0,095 \pm 0,016	0,322	
Лиз	0,203 \pm 0,001	0,213 \pm 0,011	0,249 \pm 0,041	0,266 \pm 0,035	0,146	
Арг	0,150 \pm 0,006	0,153 \pm 0,006	0,186 \pm 0,033	0,209 \pm 0,054	0,361	
Про	0,122 \pm 0,004	0,120 \pm 0,004	0,126 \pm 0,008	0,112 \pm 0,005	0,298	
НАК/ЗАК	0,80 \pm 0,03	0,80 \pm 0,02	0,85 \pm 0,03	0,92 \pm 0,04	0,087	

Примечания: A – 1 контрольная группа, B – 2 опытная группа; C – 3 опытная группа; D – 4 опытная группа; p – достоверность различий между группами; Асп – аспаргиновая кислота; Тре – треонин; Сер – серин; Глу – глутаминовая кислота; Гли – глицин; Ала – аланин; Цис – цистеин; Вал – валин; Мет – метионин; Иле – изолейцин; Лей – лейцин; Тир – тирозин; Фен – фенилаланин; Гис – гистидин; Лиз – лизин; Арг – аргинин; Про – пролин, НАК – сумма незаменимых аминокислот, ЗАК – сумма заменимых аминокислот.

В опытных группах цыплят прослеживается выраженная тенденция к увеличению содержания серосодержащих метионина и цистеина. Метионин обычно является первой лимитирующей аминокислотой для бройлеров [17]. Обе эти АК

участвуют в образовании пера, ряда гормонов, витаминов. Введение метионина в рацион бройлеров способствует снижению уровня жира, увеличению уровня протеина и уменьшению количества влаги в грудных мышцах [17]. Также метио-

нин является потенциальным медиатором иммунного ответа, а добавки с метионином могут способствовать яйценоскости и улучшению периферического иммунитета крови [18]. В работе Gene M. Pesti и Mingan Choct (2023) сообщается о потребности цыплят в цистеине и невозможности получения наилучших показателей роста только с помощью метионина [19].

Стоит отметить, что 2-ая группа характеризуется наибольшим содержанием (по абсолютной величине) ряда заменимых (аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, глицина, серина) и незаменимых аминокислот (треонина, аланина, валина и лейцина), однако соотношение суммы незаменимых аминокислот к заменимым (НАК\ЗАК) было наилучшим в 4-ой группе и составило 0,92 против 0,80 в 1-ой и 2-ой, а также 0,85 в 3-ей (гистидина и аргинина в данном исследовании относили к незаменимым АК). Это обусловлено большим содержанием незаменимых аминокислот (метионина, изолейцина, гистидина, лизина и аргинина) наряду с меньшей концентрацией ряда заменимых аминокислот. По мнению авторов, соотношение НАК\ЗАК может служить одним из критериев ценности корма для роста организма цыплят.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Замена в рационе цыплят-бройлеров зерновой части на семена рапса в количестве 25-75% оказывает выраженное влияние на общий аминокислотный профиль крови.

Во всех опытных группах увеличивается содержание большинства аминокислот относительно контроля за исключением за исключением аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, глицина, тирозина и пролина. Достоверная разница между группами наблюдается для 4 функциональных аминокислот: серин, глицин, аланин, валин.

Добавление семян рапса в рацион бройлеров способствовало увеличению содержания в крови лимитирующих аминокислот метионина, лизина и валина, что говорит о высокой биологической ценности изучаемого алиментарного фактора.

2-ая группа характеризуется наибольшим содержанием ряда заменимых и незаменимых аминокислот (аспарагиновая кислота, треонин, серин, глутаминовая кислота, глицин, аланин, валин и лейцин), однако соотношение суммы незаменимых аминокислот к заменимым было наилучшим в 4-ой группе, что обусловлено большим содержанием незаменимых (метионин, изолейцин, гистидин, лизин и аргинин) аминокислот наряду с меньшей концентрацией ряда заменимых аминокислот.

По мнению авторов, соотношение НАК\ЗАК может служить одним из критериев ценности корма для роста организма цыплят.

AMINO ACID PROFILE OF BLOOD IN BROILER CHICKENS WHEN REPLACING CERTAIN PROTEIN COMPONENTS IN THE DIET

Kolesnik N. S. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Fundamental Principles of Nutrition of Agricultural Animals and Fish (ORCID 0000-0002-4267-5300); **Zaitsev S. Yu.** – Doctor of Chemical Sciences, Doctor of Biological Sciences, leading researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of farm animals (ORCID 0000-0003-1533-8680); **Voronina O. A.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of farm animals (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Savina A. A.** – Researcher, of the Department of Physiology and Biochemistry of farm animals (ORCID 0000-0003-0257-1643)

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst

* s.y.zaitsev@mail.ru

Funding: This work was supported by the Russian Science Foundation, grant No. 25-16-00095 (dated May30, 2025). The authors are grateful to Doctor of Biological Sciences, Professor V.G. Vertiprakhov (Head of the Department of Animal Physiol-

ogy, Ethology and Biochemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow) for his great assistance in this work.

ABSTRACT

A protein with a balanced amino acid composition is a key element in poultry feeding, necessary for intensive growth and high productivity. Deficiency of limiting amino acids (AA) in the diet inevitably leads to metabolic disorders, slower growth rates and a decrease in the productive qualities of poultry. Rapeseed proteins are well balanced in amino acid composition; in lysine content they are close to soybeans, and in methionine and cysteine, calcium and phosphorus they are significantly superior to it. The aim of this work is to evaluate the effect of replacement of some feed with rapeseed in the amount of 25-75% of the broiler chicken diet on the amino acid profile of the body. The experiment involved 4 groups of fistula broiler chickens of the Smena 9 cross (N = 20, n = 5): 1 (k) - basic diet (BD) + crude fat (CF) 5%; 2 (o) - BD + 25% rapeseed (RS) (9.5% CF); 3(o) – OR with 50% RS (19% CF); 4(o) – OR with 75% RS (28.5% CF). Amino acid analysis of blood serum was performed by ion-exchange chromatography with post-column derivatization with ninhydrin. The introduction of rapeseed into the broiler diet contributed to a reliable ($p \leq 0.05$) increase in the content of Val, Gly, Ser in the blood of chickens from the experimental groups, as well as a marked increase in the level of Arg, Ala, Cys, Met and Lys. The 2nd group is characterized by the highest content of a number of functional amino acids: Asp, Thr, Ser, Glu, Gly, Ala, Val and Leu, however, the ratio of the sum of essential AAs to replaceable AAs was the best in the 4th group, which is due to the high content of Met, Ile, His, Lys and Arg along with a lower concentration of a number of replaceable AAs. Thus, replacing the grain portion of the broiler chicken diet with rapeseed in an amount of 25-75% has a pronounced effect on the overall amino acid profile of the blood.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Wade, L. G. Amino acids, peptides, and proteins / L. G. Wade // Organic chemistry. – 2010. – P. 1153-1199
2. Chalvon-Demersay, T. Functional amino acids in pigs and chickens: implication for gut health / T. Chalvon-Demersay, D. Luise, N. Le Floc'h et al. // Frontiers in Veterinary Science. – 2021. – Vol. 8. – article 663727. – DOI: 0.3389/fvets.2021.663727.
3. Karau, A. Amino acids in human and animal nutrition / A. Karau, I. Grayson // Biotechnology of food and feed additives. – 2014. – P. 189-228. – DOI: 10.1007/10_2014_269.
4. Zaitsev, S. Y. Correlations between the major amino acids and biochemical blood parameters of pigs at controlled fattening duration / S. Y. Zaitsev, N. S. Kolesnik, N. V. Bogolyubova // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – №. 7. – article 2278. – DOI: 10.3390/molecules27072278.
5. Zhang, S. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review / S. Zhang, X. Zeng, M. Ren et al. // Journal of animal science and biotechnology. – 2017. – Vol. 8. – article 10. – DOI: 10.1186/s40104-016-0139-z.
6. Ильяков, А. В. Метод повышения биологической полноценности мышечной и жировой ткани свиней / А. В. Ильяков, И. Н. Миколайчик, Л. А. Морозова, Е. С. Ступина // Аграрный вестник Урала. – 2015. – №. 6 (136). – С. 34-37.
7. Гречкина, В. В. Роль аминокислот в кормлении сельскохозяйственной птицы (обзор) / В. В. Гречкина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – №. 2 (94). – С. 333-336.
8. Буряков, Н. П. Кормовая добавка синтетического l-валина в комбикормах для цыплят-бройлеров / Н. П. Буряков, С. А. Щукина, К. А. Горст // Агрозоотехника. – 2022. – Т. 5. – № 2. С. 1-13. – DOI: 10.15838/alt.2022.5.2.1.
9. Agostini, P. S. The optimum valine: lysine ratios on performance and carcass traits of male broilers based on different regression approaches / P. S. Agostini, R. R. Santos, D. R. Khan et al. // Poultry Science. – 2018. –

- Vol. 98. – №. 3. – С. 1310-1320. – DOI: 10.3382/ps/pey454.
10. Воловик, В. Т. Производство рапса в Центральной России: состояние и перспективы / В. Т. Воловик, А. С. Шпаков // Кормопроизводство. – 2020. – №. 10. – С. 3-8. DOI: 10.25685/krm.2020.83.54.001
11. Дегтярев, И. А. Белковые препараты из отходов переработки рапса: обзор современного состояния и перспектив развития существующих технологий / И. А. Дегтярев, И. А. Фоменко, А. А. Мижева и др. // Пищевые системы. – 2023. – Т. 6. – №. 2. – С. 159-170. – DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170.
12. Колесник, Н. С. Влияние сроков откорма на метаболиты крови свиней породы ландрас и их двухпородных гибридов / Н. С. Колесник, О. Н. Сивкина, О. А. Воронина и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2025. – Т. 26. – №. 4. – С. 872-884. – DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.4.872-884.
13. Смуглов, Е. П. Влияние L-аргинина на метаболизм липидов и активаторную активность у больных стабильной стенокардией / Е. П. Смуглов, Э. В. Келеджиева, Н. А. Шадчневая, А. Д. Сахалтуев // Таврический медико-биологический вестник. – 2015. – Т. 18. – №. 3. – С. 56-59.
14. Li, S. Dietary L-arginine supplementation reduces lipid accretion by regulating fatty acid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) / S. Li, Y. Zhang, N. Liu et al. // Journal of Animal Science and Biotechnology. – 2020. – Vol. 11. – №. 1. – article 82. – DOI: 10.1186/s40104-020-00486-7.
15. Абашкина, Е. М. Глицин в кормлении цыплят-бройлеров и применение кристаллического глицина с целью снижения уровня сырого протеина в рационах / Е. М. Абашкина // Птицеводство. – 2021. – №. 6. – С. 12-17. – DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-12-17.
16. Андрианова, Е. Н. L-лизин сульфат 75% и концентрат лизина сульфата жидкого в кормлении цыплят-бройлеров / Е. Н. Андрианова, И. А. Егоров, Е. Н. Григорьева и др. // Птицеводство. – 2019. – №. 1. – С. 5-10.
17. Орлов, М. М. Влияние аминокислоты метионина и сухой молочной сыворотки на зоотехнические показатели бройлеров / М. М. Орлов, В. В. Зайцев, М. С. Сеитов и др. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – №. 5 (91). – С. 250-254.
18. Song, B. Methionine deficiency affects liver and kidney health, oxidative stress, and ileum mucosal immunity in broilers / B. Song, M. Fu, F. He et al. // Frontiers in veterinary science. – 2021. – Vol. 8. – article 722567. – DOI: 10.3389/fvets.2021.722567.
19. Pesti, G. M. The future of feed formulation for poultry: Toward more sustainable production of meat and eggs / G. M. Pesti, M. Choct // Animal Nutrition. – 2023. – Vol. 15. – P. 71-87. – DOI: 10.1016/j.aninu.2023.02.013.

REFERENCES

1. Wade, L. G. Amino acids, peptides, and proteins / L. G. Wade // Organic chemistry. – 2010. – P. 1153-1199
2. Chalvon-Demersay, T. Functional amino acids in pigs and chickens: implications for gut health / T. Chalvon-Demersay, D. Luise, N. Le Floc'h et al. // Frontiers in Veterinary Science. – 2021. – Vol. 8. – article 663727. – DOI: 0.3389/fvets.2021.663727.
3. Karau, A. Amino acids in human and animal nutrition / A. Karau, I. Grayson // Biotechnology of food and feed additives. – 2014. – P. 189-228. – DOI: 10.1007/10_2014_269.
4. Zaitsev, S. Y. Correlations between the major amino acids and biochemical blood parameters of pigs at controlled fattening duration / S. Y. Zaitsev, N. S. Kolesnik, N. V. Bogolyubova // Molecules. – 2022. – Vol. 27. – no. 7. – article 2278. – DOI: 10.3390/molecules27072278.
5. Zhang, S. Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review / S. Zhang, X. Zeng, M. Ren et al. // Journal of animal science and biotechnology. – 2017. – Vol. 8. – article 10. – DOI: 10.1186/s40104-016-0139-z.
6. Iltyakov, A. V. Method for increasing the biological value of muscle and adipose tissue in pigs / A. V. Iltyakov, I. N. Mikolaychik,

- L. A. Morozova, E. S. Stupina // Agrarian Bulletin of the Urals. – 2015. – No. 6 (136). – P. 34-37. (in Russian).
7. Grechkina, V. V. The role of amino acids in feeding agricultural poultry (review) / V. V. Grechkina // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. – 2022. – No. 2 (94). – P. 333-336. (in Russian).
8. Buryakov, N. P. Feed additive of synthetic l-valine in compound feed for broiler chickens / N. P. Buryakov, S. A. Shchukina, K. A. Gorst // Agrozootekhnika. - 2022. - Vol. 5. - No. 2. pp. 1-13. (in Russian). - DOI: 10.15838/alt.2022.5.2.1.
9. Agostini, P. S. The optimum valine: lysine ratios on performance and carcass traits of male broilers based on different regression approaches / P. S. Agostini, R. R. Santos, D. R. Khan et al. // Poultry Science. - 2018. - Vol. 98. - No. 3. – P. 1310-1320. – DOI: 10.3382/ps/pey454.
10. Volovik, V. T. Rapeseed production in Central Russia: status and prospects / V. T. Volovik, A. S. Shpakov // Forage production. – 2020. – No. 10. – P. 3-8. (in Russian). - DOI: 10.25685/krm.2020.83.54.001
11. Degtyarev, I. A. Protein preparations from rapeseed processing waste: a review of the current status and prospects for the development of existing technologies / I. A. Degtyarev, I. A. Fomenko, A. A. Mizheva, et al. // Food systems. – 2023. – Vol. 6. – No. 2. – P. 159-170. (in Russian). – DOI: 10.21323/2618-9771-2023-6-2-159-170.
12. Kolesnik, N. S. The Effect of Fattening Timing on Blood Metabolites in Landrace Pigs and Their Two-Breed Hybrids / N. S. Kolesnik, O. N. Sivkina, O. A. Voronina, et al. // Agrarian Science of the Euro-North-East. – 2025. – Vol. 26. – No. 4. – P. 872-884. (in Russian). – DOI: 10.30766/2072-9081.2025.26.4.872–884.
13. Smuglov, E. P. Effect of L-arginine on lipid metabolism and activator activity in patients with stable angina / E. P. Smuglov, E. V. Keledzhieva, N. A. Shadchneva, A. D. Sakhaltuev // Tavricheskiy Mediko-Biologicheskiy Vestnik. - 2015. - Vol. 18. - No. 3. - Pp. 56-59. (in Russian).
14. Li, S. Dietary L-arginine supplementation reduces lipid accretion by regulating fatty acid metabolism in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) / S. Li, Y. Zhang, N. Liu et al. // Journal of Animal Science and Biotechnology. - 2020. - Vol. 11. - No. 1. – article 82. – DOI: 10.1186/s40104-020-00486-7.
15. Abashkina, E. M. Glycine in feeding broiler chickens and the use of crystalline glycine to reduce the level of crude protein in diets / E. M. Abashkina // Poultry farming. – 2021. – No. 6. – Pp. 12-17. (in Russian). – DOI: 10.33845/0033-3239-2021-70-6-12-17.
16. Andrianova, E. N. L-lysine sulfate 75% and liquid lysine sulfate concentrate in feeding broiler chickens / E. N. Andrianova, I. A. Egorov, E. N. Grigorieva, et al. // Poultry farming. - 2019. - No. 1. - Pp. 5-10. (in Russian).
17. Orlov, M. M. Influence of the amino acid methionine and dry whey on the zootechnical indicators of broilers / M. M. Orlov, V. V. Zaitsev, M. S. Seitov, et al. // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. - 2021. - No. 5 (91). - Pp. 250-254. (in Russian).
18. Song, B. Methionine deficiency affects liver and kidney health, oxidative stress, and ileum mucosal immunity in broilers / B. Song, M. Fu, F. He et al. // Frontiers in veterinary science. – 2021. – Vol. 8. – article 722567. – DOI: 10.3389/fvets.2021.722567.
19. Pesti, G. M. The future of feed formulation for poultry: Toward more sustainable production of meat and eggs / G. M. Pesti, M. Choct // Animal Nutrition. – 2023. – Vol. 15. – P. 71-87. – DOI: 10.1016/j.aninu.2023.02.013.