

Обзорная статья/Review article

УДК 636.4: 636.085.14:612.12.123

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-134-145

**Ольга Николаевна Родионова**

Всероссийский НИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФИЦ животноводства – ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Боровск, Россия

rod.o.n.1984@bk.ru

## ЛИПИДЫ В ПИТАНИИ СВИНЕЙ (ОБЗОР)

*Цель исследования – систематизация и обобщение данных, определяющих усвоение липидов для последующей разработки концепций и стратегий улучшения их применения в диетах свиней. Одним из главных компонентов в рационе свиней являются липиды. При внесении липидов в рацион свиней его энергетическая ценность увеличивается, поскольку в них содержится примерно в 2,25 раза больше энергии, чем в углеводах. Вопросы применения липидов в кормлении свиней современных пород и линий осложняются трудностями исследования механизмов физико-химических трансформаций липидных комплексов, которые происходят в просвете кишечника и в процессе их всасывания. Решение проблемы связано с наличием широкого спектра различий по составу и качеству жира и масел, используемых в питании свиней. Проведена оценка текущих исследований, связанных с вопросами усвоения липидов, для последующей разработки концепций и стратегий улучшения их применения в рационах свиней. Более глубокое изучение влияния химического состава липидов на их переваривание и метаболизм, а также исследование физиологических механизмов этих процессов и роли факторов, влияющих на усвоение энергии жира и масел, позволяют разработать способы повышения эффективности их использования. Рассмотрены структурно-функциональные характеристики липидов; переваривание и всасывание липидов; влияние липидов на рост, развитие и характеристику мясной продуктивности. Подробное изучение факторов, влияющих на физиологические эффекты липидов в рационах свиней, необходимо в связи с успехами в области исследования процессов переваривания липидов, их метаболизма после всасывания, процессов клеточного деления, иммунной функции и метаболического стресса у них. Существует необходимость проведения дальнейших исследований по изучению физико-химических свойств липидных комплексов и физиологических эффектов их действия в просвете кишечника, в процессах всасывания и метаболизма липидов.*

**Ключевые слова** жиры, масла, свиньи, липиды, метаболизм свиней, усвоение липидов, питательная ценность

**Для цитирования:** Родионова О.Н. Липиды в питании свиней (обзор) // Вестник КрасГАУ. 2025. № 11. С. 134–145. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-134-145.

**Olga Nikolaevna Rodionova**

All-Russian Research Institute of Animal Physiology, Biochemistry, and Nutrition – Branch of the L.K. Ernst FRC of Animal Husbandry – All-Russian Research Institute of Animal Husbandry, Borovsk, Russia

rod.o.n.1984@bk.ru

## LIPIDS IN PIGS' NUTRITION (REVIEW)

*The objective of the study is to systematize and summarize data on lipid digestibility for the subsequent development of concepts and strategies for improving their use in pig diets. Lipids are a key component of pig diets. Including lipids in pig diets increases their energy value, as they contain approximately 2.25 times more energy than carbohydrates. The use of lipids in feeding modern pig breeds and strains is complicated*

*by the difficulties in studying the mechanisms of physicochemical transformations of lipid complexes that occur in the intestinal lumen and during their absorption. This problem is due to the wide variation in the composition and quality of fats and oils used in pig nutrition. This review examines current research on lipid digestibility to develop concepts and strategies for improving their use in pig diets. A more in-depth study of the influence of lipid chemical composition on their digestion and metabolism, as well as investigation of the physiological mechanisms of these processes and the role of factors influencing the absorption of energy from fats and oils, allows us to develop methods for increasing the efficiency of their use. The paper examines the structural and functional characteristics of lipids, lipid digestion and absorption, and the impact of lipids on growth, development, and meat performance. A detailed study of the factors influencing the physiological effects of lipids in pig diets is necessary given advances in research into lipid digestion, post-absorption metabolism, cell division, immune function, and metabolic stress in pigs. Further research is needed to understand the physicochemical properties of lipid complexes and their physiological effects in the intestinal lumen, as well as on lipid absorption and metabolism.*

**Keywords:** fats, oils, pigs, lipids, pig metabolism, lipid absorption, nutritional value

**For citation:** Rodionova ON. Lipids in pigs' nutrition (review). *Bulletin of KSAU*. 2025;(11):134-145. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-11-134-145.

**Введение.** Интерес к липидам в свиноводстве исторически был связан с влиянием жиров в рационе на продуктивность на разных этапах производства. Кормовые жиры и масла обеспечивают свиньям значительное количество энергии в рационе, но их состав, качество, кормовая ценность и цена сильно различаются в зависимости от источника. Энергия является самым дорогим компонентом в рационе свиней, и рекордно высокие затраты на корм в последние годы заставили специалистов сосредоточиться на оптимизации энергетической ценности кормовых ингредиентов, используемых в кормах [1–3].

Липиды, получаемые из растительных и животных источников, являются важным компонентом рациона свиней, поскольку они представляют собой незаменимые питательные вещества, необходимые для роста и развития. В обычном рационе липиды добавляются до 10 % и они служат источником незаменимых жирных кислот, таких как линолевая кислота и  $\alpha$ -линоленовая кислота, которые не синтезируются в организме свиней. Кроме того, липиды являются носителями жирорастворимых витаминов (A, D, E и K) и таких как гидрофобные полифенолы. Липиды также являются структурными компонентами клеточных мембран, участвуют в клеточных сигнальных путях и являются предшественниками стероидных гормонов. Все эти функции пищевых липидов способствуют поддержанию здоровья поросят [4].

Существует множество источников жиров, которые можно использовать в рационе свиней. Каждый источник имеет свой состав жирных

кислот, что приводит к различиям в усвояемости и энергетической ценности. Вполне вероятно, что различное содержание жиров и разные источники жиров в рационе могут влиять на отложение жировой и мышечной ткани. В конечном счете, это может влиять на скорость роста, характеристики и качество туши. Животные жиры, такие как топленое свиное сало, имеют более низкую энергетическую ценность по сравнению с растительными маслами. Это связано с тем, что животные жиры содержат больше насыщенных жирных кислот, а растительные масла – больше ненасыщенных жирных кислот. В то время как топленое свиное сало было распространенным источником жиров для откорма свиней, доступность и использование кукурузного масла возросли с распространением производства этанола. Однако ненасыщенный состав жирных кислот в кукурузном масле приводит к тому, что жир откладывается в более мягкой ткани, а упругость брюшины в целом снижается по сравнению с источниками более насыщенных жиров. Жирные кислоты служат важными регуляторами обмена веществ, поскольку являются энергетическими субстратами. Состав и молекулярная структура пищевых жирных кислот, в том числе длина цепи и количество двойных связей, влияют на переваривание, всасывание и метаболизм питательных веществ [5–7]. Несмотря на то что существует множество исследований, демонстрирующих положительное влияние добавления жира и масел в рацион на рост и развитие и характеристики туш свиней, до сих пор неясными остаются вопросы, свя-

занные с влиянием различных источников липидов, отдельных жирных кислот на организм и экономической целесообразностью их применения [4. 7–9].

**Цель исследования** – систематизация и обобщение данных, определяющих усвоение липидов для последующей разработки концепций и стратегий улучшения их применения в рационах свиней.

**Структурно-функциональные характеристики липидов.** Разделение липидов на «жиры» и «масла» в значительной степени носит исторический характер. Как правило, «масла» – это липиды растительного происхождения, которые являются жидкими при комнатной температуре, в то время как «жиры» имеют животное происхождение и чаще всего являются твердыми при комнатной температуре. Из этих категорий есть заметные исключения, например «куриное масло». С научной точки зрения липиды делятся на три категории: триглицериды, фосфолипиды и стероиды. Триглицериды являются основным компонентом (98 % от общей массы) жиров и масел, используемых в питании животных, при этом на долю второстепенных соединений приходится небольшая часть общего количества липидов. Триглицериды, независимо от происхождения, растворимы в органических растворителях и в основном состоят из углеводородных структур, а именно монокарбоновых (жирных) кислот  $[R-(CH_2)_nCOO-]$  [2, 10]. В нативном триглицериде есть три стереоспецифических места, к которым присоединяются этерифицированные жирные кислоты, известные как sn-1, sn-2 и sn-3. Жирные кислоты определяются длиной их углеводной цепи (от C2 до C24): жирные кислоты с длиной цепи менее 6 атомов углерода считаются короткоцепочечными, с содержанием от 6 до 12 атомов углерода – среднецепочечными, а с содержанием более 12 атомов углерода – длинноцепочечными, и степенью их ненасыщенности (насыщенные, мононенасыщенные и полиненасыщенные); для описания жирных кислот используется несколько систем наименований, которые описывают химическую структуру [2, 10]. В диетологии жирные кислоты чаще всего обозначаются по длине их цепи и количеству двойных связей (например, линоленовая кислота обозначается как C18 : 3). Только две жирные кислоты – линолевая и линоленовая – считаются «незаменимы-

ми» для свиней [11, 12], поскольку эндогенный синтез не может удовлетворить биологические потребности. В последние годы возродился интерес к изучению влияния уровня и соотношения не только этих, но и других жирных кислот в питании людей и животных [8, 13–15].

Жирные кислоты с короткими цепями вырабатываются эндогенно в качестве основных конечных продуктов бактериальной ферментации в толстой кишке и обычно содержатся в низких концентрациях – 58–69 ммоль/кг сухого вещества, хотя при употреблении богатой клетчаткой пищи этот показатель может быть увеличен до 84–98 ммоль/кг сухого вещества [16]. Жирные кислоты с короткой цепью, в частности бутират, являются основным источником энергии для энтероцитов кишечника [17] и часто добавляются в коммерческие корма для поддержания здоровья кишечника.

Углеводородные цепи жирных кислот неполярны, и это отсутствие полярности способствует их гидрофобности, поскольку вода очень полярна и использует заряд сольбилизованных молекул для удержания других молекул в растворе. Однако некоторые липиды известны как полярные липиды, поскольку они содержат гидрофильные структуры, которые позволяют им быть, по крайней мере, частично растворимыми в воде; эти полярные липиды являются основными компонентами клеточных мембран. Полярные липиды, выделенные из лецитина, известны своей способностью к эмульгированию, в то время как полярные липиды из молочных продуктов и продуктов животного происхождения являются потенциальными регуляторами клеточного метаболизма [18].

**Усвоение липидов.** Процесс пищеварения и всасывания питательных веществ рациона, в том числе липидов, сложен и состоит из нескольких последовательных этапов, которые происходят в ротовой полости, желудке, тонком и толстом кишечнике [19, 20]. Переваривание и всасывание липидов из различных пищевых продуктов – это сложные процессы, включающие действие липазы и физико-химическую обработку на протяжении всего желудочно-кишечного тракта [4]. Поскольку липиды в основном нерастворимы в воде, их необходимо эмульгировать, чтобы сделать доступными для различных липолитических ферментов, присутствующих в желудке и тонком кишечнике. Эти

ферменты, действующие на границе раздела липидов и воды, включают желудочную липазу, колипазу – зависимую панкреатическую липазу, белок 2, родственный панкреатической липазе, и липазу, стимулируемую солями желчных кислот [4, 21]. Продукты пищеварения растворяются желчными кислотами и фосфолипидами в просвете кишечника и образуют самоорганизующиеся структуры, такие как мицеллы солей желчных кислот и фосфолипидные везикулы, которые затем транспортируются к эпителиальным клеткам кишечника для всасывания.

Скорость переваривания и всасывания липидов из отдельных продуктов зависит от нескольких факторов, в том числе от типа и структуры липидов, их расположения в пищевой матрице, наличия других соединений в среде пищеварения (например, пищевых волокон, полифенолов) и объема пищеварительных соков, который зависит от возраста, состояния здоровья и количества съеденной пищи [22]. Скорость появления и выведения липидов в кровоток после употребления пищи, содержащей липиды, обычно называют «постпрандиальной липемией». Постпрандиальная липемия возникает из-за увеличения количества хиломикронов, образующихся в кишечнике, и липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП), образующихся в печени [4, 23, 24].

Как уже говорилось выше, липиды в рационе свиней имеют широкий спектр супрамолекулярных структур и химического состава и обычно находятся в эмульгированном состоянии в жидкой или твердой пищевой матрице. Кроме того, физические структуры липидов постоянно меняются в динамичной среде желудочно-кишечного тракта, что, в свою очередь, влияет на переваривание и метаболическую судьбу продуктов пищеварения. Первым этапом переваривания липидов является обработка пищи в полости рта, которая включает в себя первоначальное механическое измельчение полутвердых и твердых продуктов, содержащих липиды. Слюна смешивается с болюсом, что способствует смазке, и снижает трение между частицами пищи за счет действия белков слюны. Жидкие пищевые эмульсии проводят в полости рта относительно мало времени, но на них все равно могут воздействовать ферменты, белки, муцины и различные ионы слюны. Муцин, содержащийся в слюне, вызывает мостиковую флокуляцию

липопротеинов в желудочном тракте за счет электростатического притяжения, а также дефляционную флокуляцию липопротеинов в кишечном тракте. Первый процесс препятствует слиянию капель масла, а второй способствует высвобождению свободных жирных кислот за счет увеличения площади контакта липопротеинов с солями желчных кислот [4, 25].

Существование лингвальной липазы – фермента, который, как было доказано, присутствует и активен в языке крыс, мышей свиней, – у ряда исследователей вызывает сомнения [26, 27]. При попадании в желудок интенсивные перистальтические волны в антральном отделе способствуют смешиванию пищи с желудочным соком. Наличие пищевых и эндогенных поверхностно-активных соединений дополнительно способствует эмульгированию липидов. Адсорбция желудочной липазы на границе раздела фаз «масло–вода» в липидных каплях/частицах запускает гидролиз триацилглицеринов с образованием в основном диацилглицеринов (ДАГ) и незатерифицированных жирных кислот (НЭЖК). Желудочная липаза (молекулярная масса 50 кДа) локализуется совместно с пепсиногеном в главных клетках проксимального отдела желудка и скорость ее секреции зависит от типа и количества потребляемой пищи. Желудочная липаза стабильна при значениях pH от 2 до 7, а максимальная липолитическая активность наблюдается при pH 5,0–5,4 [4]. Она преимущественно гидролизует триглицериды по sn3-положению, что приводит к образованию sn1,2-диацилглицеринов. Считается, что липолиз триглицеридов, содержащих среднецепочечные жирные кислоты, более эффективен, чем липолиз триглицеридов, содержащих длинноцепочечные жирные кислоты, поскольку активность желудочной липазы подавляется накоплением длинноцепочечных жирных кислот на границе раздела липидов и воды. Желудочная липаза участвует в 10–30 % общего процесса липолиза свиней, но играет более важную роль в переваривании липидов у младенцев. Уровень pH (2,0–6,0) в желудке младенца выше, чем в желудке взрослого животного (pH 1,4–2,0), что, вероятно, способствует более эффективному перевариванию липидов с помощью желудочной липазы. Дальнейшее переваривание липидов зависит от действия панкреатической

липазы в нижних отделах желудочно-кишечного тракта [4].

Желудок также обеспечивает прямое всасывание короткоцепочечных и среднецепочечных (менее 12 атомов углерода) жирных кислот через слизистую оболочку желудка. Предполагается, что длинноцепочечные жирные кислоты, высвобождаемые в желудке под действием желудочной липазы, первыми запускают секрецию гормонов, таких как холецистокинин (который опосредует последующие эффекты пищи). Переход содержимого желудка в двенадцатиперстную кишку контролируется процессом опорожнения желудка [2].

В тонком кишечнике триацилглицеринов (ТАГ) и ДАГ далее перерабатываются в абсорбируемые 2-моноацилглицерины и НЭЖК, главным образом под действием липазы поджелудочной железы свиньи (оптимальный диапазон pH 7,5–8,5), которая имеет кофактор, называемый колипазой. Панкреатическая липаза была широко изучена [2, 10, 28]. Это гликозилированная сериновая гидролаза с молекулярной массой 50,5 кДа, которая синтезируется ацинарными клетками поджелудочной железы в виде активного фермента, а не неактивного зимогена, как большинство ферментов поджелудочной железы. Она попадает в просвет кишечника через проток поджелудочной железы. Колипаза связывается с поверхностью раздела фаз «масло–вода» с помощью желчных кислот и закрепляет панкреатическую липазу на этой поверхности [28]. В отсутствие колипазы желчные кислоты удаляют панкреатическую липазу с поверхности липидов и тем самым подавляют липолиз. Панкреатическая липаза гидролизует триглицериды по положениям 1 и 3, высвобождая НЭЖК и 2-моноголицериды [4, 28]. Поскольку поверхностная активность этих продуктов выше, чем у исходных триглицеридов, они способствуют диспергированию липидов в просвете кишечника. Панкреатические ферменты фосфолипаза A2 (молекулярная масса 13,6 кДа) и холестеринэстераза также способны адсорбироваться на границе раздела фаз «масло–вода». Панкреатическая фосфолипаза A2 гидролизует связь ацилжирных кислот в положении 2 в фосфолипидах, высвобождая НЭЖК и лизолецитин, то есть лизофосфатидилхолин [4]. Как и в случае с НЭЖК, лизолецитин способствует диспергированию липидных капель. Эфиры холесте-

рина расщепляются панкреатической холестеринэстеразой и всасываются в энтероциты в виде свободного холестерина. Поскольку большинство продуктов гидролиза липидов практически нерастворимы в воде, они растворяются в жидком содержимом кишечника [4]. Желчные кислоты, фосфолипиды и холестерин способны повышать растворимость липолитических продуктов в просвете кишечника, образуя ряд самоорганизующихся структур, называемых смешанными мицеллами. Смешанные мицеллы представляют собой дискообразные агрегаты, содержащие желчные соли, жирные кислоты, макроглобулины, фосфолипиды и холестерин, и имеют диаметр около 4 нм [4, 10]. Эти смешанные мицеллы в просвете кишечника сосуществуют с однослойными жидкокристаллическими везикулами или липосомами [2]. НЭЖК с длиной цепи  $\leq 12$  атомов углерода всасываются непосредственно через энтероциты в воротную вену, но НЭЖК с более длинной цепью всасываются по-другому. После поглощения энтероцитами они переэтерифицируются в триглицериды, включаются в состав хиломикронов и впоследствии попадают в лимфатическую систему [4]. Процесс абсорбции включает в себя поглощение продуктов пищеварения, внутриклеточный транспорт, синтез ТАГ и их упаковку для последующей секреции в виде хиломикронов или хранения в цитоплазматических липидных каплях энтероцитов. Все отделы тонкого кишечника способны поглощать и всасывать продукты расщепления ТАГ, однако большая часть процессов поглощения и всасывания происходит в тощей кишке. Энтероциты – это поляризованные эпителиальные клетки с апикальной и базолатеральной мембранами, которые отвечают за поглощение и всасывание большинства питательных веществ. Апикальная мембрана, или щеточная каемчатая мембрана, имеет неподвижный водный слой, через который транспортируются продукты пищеварения. В этом слое поддерживается низкий уровень pH за счет  $H^+/Na^+$  антипортной системы обмена, создающей кислую среду, в которой продукты пищеварения отделяются от мицелл. НЭЖК проникают через апикальную мембрану путем пассивной диффузии или опосредованного белками транспорта [4, 29]. После всасывания из тонкого кишечника продукты расщепления липидов попадают в кровь через лимфатическую систему.

За появлением хиломикронов в кровотоке следует увеличение количества ЛПОНП печеночно-го происхождения из-за конкуренции за липолиз между ЛПОНП и хиломикронами [4]. Считается, что постпрандиальная липемия является результатом увеличения количества как хиломикронов кишечного происхождения, так и ЛПОНП печени. Поскольку липопротеинлипаза и рецепторы печени легче воздействуют на хиломикроны, уровень ЛПОНП после приема пищи повышается в большей степени, чем уровень хиломикронов [4]. Скорость переваривания, всасывания, поступления в кровоток и выведения липидов из отдельных продуктов зависит от структуры и состава потребляемой пищи, а также от различных немодифицируемых факторов (патологических состояний, генетической предрасположенности, возраста, пола) [4, 30].

**Влияние липидов на рост, развитие и характеристику мясной продуктивности.** Доказано, что добавление жиров и масел в рацион свиней снижает среднесуточную потребность в корме и увеличивает среднесуточный прирост живой массы и коэффициент конверсии корма. При этом их добавление также может повлиять на характеристики туш, например увеличить толщину жировой прослойки и уменьшить содержание мякоти в туше [8, 31–34]. В мета-регрессионном анализе по результатам 41 исследования было отмечено, что увеличение чистой энергии рациона улучшило скорость роста свиней и эффективность использования корма. Однако эти результаты наблюдались только в тех случаях, когда в рационах поддерживалось соотношение лизин : энергия. Также было сообщено, что увеличение содержания незаменимых жирных кислот в рационе повышает эффективность кормления. Однако при дисбалансе соотношения лизина и незаменимых жирных отмечается снижение темпов роста свиней и увеличение толщины шпика. Поэтому при оценке результатов на добавление жира важно учитывать условия содержания свиней и потребление ими аминокислот [35–38].

При добавлении жиров и масел в рацион его энергетическая ценность увеличивается, поскольку в них содержится примерно в 2,25 раза больше энергии, чем в углеводах. При кормлении свиней вволю потребление корма для удовлетворения энергетических потребностей снижается, что приводит к уменьшению его общего

потребления. Однако при уменьшении потребления корма поступление энергии остается относительно постоянным при увеличении концентрации энергии в рационе. Если концентрация других питательных веществ корректируется с учетом этого уменьшения потребления корма, то увеличение концентрации энергии за счет добавления жира и масел потенциально может увеличить интенсивность роста свиней и повысить эффективность использования корма [37].

Были проведены и другие исследования, в которых оценивалось влияние уровня и источника добавленного жира и масла на характеристики туш свиней. Что касается характеристик туши, то влияние добавления жира и масел в рацион оказалось неоднозначным. Было отмечено, что увеличение количества свиного жира в рационе приводило к повышению массы туши, но не повлияло на толщину шпика, глубину мышц и процентное содержание постного в мякоти. Однако в другом исследовании результаты свидетельствуют о том, что увеличение содержания жира в рационе с 0 до 3 % приводило к увеличению толщины шпика и выхода туши. При кормлении разными источниками жира не было обнаружено существенных различий в характеристиках туш свиней, которым добавляли к рациону соевое масло или свиной жир [31]. Показано, что свиньи, потреблявшие рационы с большим содержанием ненасыщенных жирных кислот, имеют более мягкую консистенцию сала по сравнению со свиньями, получавшими корма с высоким уровнем насыщенных жирных кислот. В растительных маслах больше полиненасыщенных жирных кислот, чем в животных жирах, таких как свиной жир. Эти полиненасыщенные жирные кислоты играют важную роль в подавлении синтеза липидов *de novo* и могут приводить к изменению состава откладываемого жира [38, 39]. Таким образом, увеличение количества жиров в рационе, особенно ненасыщенных жирных кислот, приводит к увеличению количества откладываемого ненасыщенного жира [31].

При добавлении конъюгированной линолевой кислоты (КЛК) в рацион свиней отмечалось улучшение показателей роста, конверсии корма. Кроме того, КЛК обладает потенциалом более стабильного снижения содержания жира и увеличения доли мышечной ткани. Следует отметить, КЛК – это собирательный термин для обозначения жирных кислот с 18 атомами угле-

рода, которые являются геометрическими изомерами линолевой кислоты. Эти жирные кислоты содержат 2 двойные связи в положениях 9 и 11 или 10 и 12 в *цис* или *транс* конфигурации. КЛК играют важную роль в метаболизме липидов, препятствуя проникновению глюкозы в адипоциты и повышая активность ядерных факторов транскрипции и ферментов, влияющих на катаболизм жирных кислот. Таким образом, эти кислоты снижают липогенез и усиливают липолиз посредством  $\beta$ -окисления. Следовательно, КЛК потенциально улучшают показатели роста за счет регулирования энергетического обмена и улучшения состава туши за счет уменьшения жировой и увеличения мышечной тканей [4–47].

**Заключение.** Одним из главных компонентов в рационе свиней являются липиды. В последнее время специалисты по кормлению свиней проявляют повышенный интерес к максимальному использованию добавок жиров и масел. Переваривание и всасывание липидов – это сложный процесс, включающий в себя

эмульгирование, гидролиз, образование смешанных мицелл и их усвоение. Результаты изучения физиологических механизмов этих процессов и роли факторов, влияющих на усвоение энергии жировых добавок, позволяют разработать способы повышения эффективности использования липидов. Огромное значение при этом имеют структурные особенности липидных комплексов, а также содержание свободных жирных кислот и общих липидов в жировых добавках. Эти факторы по-разному влияют на разных этапах роста и развития свиньи. В целом для разработки эффективных жировых добавок и их применения в свиноводстве необходимо проведение дальнейших исследований по изучению физико-химических свойств липидных комплексов и физиологических эффектов их действия в просвете кишечника, в процессах всасывания и метаболизма липидов.

**Благодарности:** выражаю искреннюю признательность коллегам из лаборатории белково-аминокислотного питания.

#### Список источников

1. Varona E., Tres A., Rafecas M., et al. Composition and Nutritional Value of Acid Oils and Fatty Acid Distillates Used in Animal Feeding // *Animals*. 2021. Vol. 11. P. 1–20. DOI: 10.3390/ani11010196.
2. Wealleans A.L., Bierinckx K., Di Benedetto M. Fats and oils in pig nutrition: Factors affecting digestion and utilization // *Animal Feed Science and Technology*. 2021. Vol. 277. P. 1–20. 114950. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114950.
3. Thng A., Ting J.X., Tay H.R., et al. The use of predicted apparent metabolizable energy values to understand the oil and fat variability in broilers // *Online Journal of Animal and Feed Research*. 2020. Vol. 10, № 4. P. 150–157.
4. Acevedo-Fani A., Singh H. Biophysical insights into modulating lipid digestion in food emulsions // *Prog. Lipid Res.* 2022. Vol. 85. P. 101–129. DOI: 10.1016/j.plipres.2021.101129.
5. Nur Mahendra M.Y., Kamaludeen J., Pertiwi H. Omega-6: Its Pharmacology, Effect on the Broiler Production, and Health // *Vet. Med. Int.* 2023. Vol. 1. P. 3220–3244. DOI: 10.1155/2023/3220344.
6. Lauridsen C. Effects of dietary fatty acids on gut health and function of pigs pre- and post-weaning // *J. Anim. Sci.* 2020. Vol. 98, № 4 (skaa086). P. 1–12. DOI: 10.1093/jas/skaa086.
7. Позднякова Н., Лушников Н. Масла в рационе свиней: какие и сколько? // *Животноводство России*. 2022. № 2. С. 32–34. DOI: 10.25701/ZZR.2022.02.02.004.
8. Bromm J.J., Tokach M.D., Woodworth J.C., et al. Effects of fat source and level on growth performance and carcass characteristics of commercial finishing pigs // *Transl. Anim. Sci.* 2023. Vol. 7, № 1 (txad018). P. 1–12. DOI: 10.1093/tas/txad018.
9. Ravindran V., Tanchaoenrat P., Zaefarian F., et al. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation // *Animal Feed Science and Technology*. 2016. Vol. 213. P. 1–21. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012.
10. Kerr B.J., Kellner T.A., Shurson G.C. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets // *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2015. Vol. 6, № 1. P. 1–23. DOI: 10.1186/s40104-015-0028-x.

11. National Research Council. NRC Nutrient Requirements of Swine. 11th ed. Washington: National Academies Press, 2012. 391 p.
12. Shurson G.C., Kerr B.J., Hanson A.R. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance // *J. Anim. Sci. Biotech.* 2015. Vol. 6. P. 1–11. DOI: 10.1186/s40104-015-0005-4.
13. Shibabaw T. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: anti-inflammatory and anti-hypertriglyceridemia mechanisms in cardiovascular disease // *Mol. Cell Biochem.* 2021. Vol. 476. P. 993–1003. DOI: 10.1007/s11010-020-03965-7.
14. Wang L., Chen Y., Yang Y., et al. Oils with different degree of saturation: effects on ileal digestibility of fat and corresponding additivity and bacterial community in growing pigs // *J. Animal Sci. Biotechnol.* 2024. Vol. 15, № 21. P. 1–12. DOI: 10.1186/s40104-023-00990-6.
15. Zhang Y., Peng S., Dong S., et al. Fatty acid-balanced oil improved nutrient digestibility, altered milk composition in lactating sows and fecal microbial composition in piglets // *Anim. Biosci.* 2024. Vol. 37, № 5. P. 883–895. DOI: 10.5713/ab.23.0359.
16. Zhan Z., Tang H., Zhang Y., et al. Potential of gut-derived short-chain fatty acids to control enteric pathogens // *Front. Microbiol.* 2022. Vol. 13. P. 1–12. DOI: 10.3389/fmicb.2022.976406.
17. Wang B., Hou J., Cao Y., et al. Dietary isobutyric acid supplementation improves intestinal mucosal barrier function and meat quality by regulating cecal microbiota and serum metabolites in weaned piglets // *Front. Vet. Sci.* 2025. Vol. 12. P. 1–16. DOI: 10.3389/fvets.2025.1565216.
18. Zheng L., Fleith M., Giuffrida F., et al. Dietary Polar Lipids and Cognitive Development: A Narrative Review // *Adv. Nutr.* 2019. Vol. 10, № 6. P. 1163–1176. DOI: 10.1093/advances/nmz051.
19. Boland M. Human digestion – a processing perspective // *J. Sci. Food Agric.* 2016. Vol. 96, N 7. P. 2275–2283. DOI: 10.1002/jsfa.7601.
20. Acevedo-Fani A., Dave A., Singh H. Nature-Assembled Structures for Delivery of Bioactive Compounds and Their Potential in Functional Foods // *Front. Chem.* 2020. Vol. 8. P. 1–22. DOI: 10.3389/fchem.2020.564021.
21. Lee S., Jo K., Jeong S.K., et al. Strategies for modulating the lipid digestion of emulsions in the gastrointestinal tract // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2024. Vol. 64, N 27. P. 9740–9755. DOI: 10.1080/10408398.2023.2215873.
22. Calvo-Lerma J., Fornes-Ferrer V., Heredia A., et al. In vitro digestion of lipids in real foods: influence of lipid organization within the food matrix and interactions with nonlipid components // *J. Food Sci.* 2018. Vol. 83, N 10. P. 2629–2637. DOI: 10.1111/1750-3841.14343.
23. Dias C.B., Moughan P.J., Wood L.G., et al. Postprandial lipemia: factoring in lipemic response for ranking foods for their healthiness // *Lipids Health Dis.* 2017. Vol. 16. P. 1–12. DOI: 10.1186/s12944-017-0568-5.
24. Dias C.B., Zhu X.Q., Thompson A.K., et al. Effect of the food form and structure on lipid digestion and postprandial lipaemic response // *Food Funct.* 2019. Vol. 10, N 1. P. 112–124. DOI: 10.1039/c8fo01698d.
25. Wang Q., Gao C., Yang N., et al. Effect of simulated saliva components on the in vitro digestion of peanut oil body emulsion // *RSC Adv.* 2021. Vol. 11, N 49. P. 30520–30531. DOI: 10.1039/d1ra03274g.
26. Brignot H., Feron G. Oral lipolysis and its association with diet and the perception and digestion of lipids: A systematic literature review // *Arch. Oral Biol.* 2019. Vol. 108. P. 1045–1050. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2019.104550.
27. Chen J.S. Food oral processing: mechanisms and implications of food oral destruction // *Trends Food Sci. Technol.* 2015. Vol. 45, N 2. P. 222–228. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.06.012.
28. Klosowska K., Del Castillo-Santaella T., Maldonado-Valderrama J., et al. The bile salt/phospholipid ratio determines the extent of in vitro intestinal lipolysis of triglycerides: Interfacial and emulsion studies // *Food Res. Int.* 2024. Vol. 187. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114421.
29. D'Aquila T., Hung Y.H., Carreiro A., et al. Recent discoveries on absorption of dietary fat: presence, synthesis, and metabolism of cytoplasmic lipid droplets within enterocytes // *Bba-Mol. Cell Biol. L.* 2016. Vol. 1861, N 8. P. 730–747. DOI: 10.1016/j.bbalip.2016.04.012.



30. Guo Q., Ye A.Q., Bellissimo N., et al. Modulating fat digestion through food structure design // *Prog. Lipid Res.* 2017. Vol. 68. P. 109–118. DOI: 10.1016/j.plipres.2017.10.001.
31. Pinheiro R.R.S., Watanabe P.H., Araújo L.R.S., et al. Structured lipids from fish viscera and coconut oils improve weight gain and intestinal morphology of piglets at nursery phase // *Trop. Anim. Health Prod.* 2024. Vol. 56, N 9. P. 1–11. DOI: 10.1007/s11250-024-04235-0.
32. Lindblom S.C., Dozier W.A., Shurson G.C., et al. Digestibility of energy and lipids and oxidative stress in nursery pigs fed commercially available lipids // *J. Anim. Sci.* 2017. Vol. 95, № 1. P. 239–247. DOI: 10.2527/jas.2016.0915.
33. Kerr B.J., Dozier W.A., Shurson G.C. Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry // *J. Anim. Sci.* 2016. Vol. 94, N 7. P. 2900–2908. DOI: 10.2527/jas.2016-0440.
34. Kerr B.J., Wilson V.C., Zhang J., et al. Influence of feeding thermally peroxidized lipids on the performance of growing pigs // *J. Anim. Sci.* 2025. Vol. 103. P. 1–14. DOI: 10.1093/jas/skaf015.
35. Marçal D.A., Kiefer C., Tokach M.D., et al. Diet formulation method influences the response to increasing net energy in finishing pigs // *Transl. Anim. Sci.* 2019. Vol. 3, N 4. P. 1349–1358. DOI: 10.1093/tas/txz147.
36. Аширов Д.А., Еримбетов С.С., Никулин В.Н., и др. Влияние внешнесредовых факторов и биологически активных кормовых добавок на накопление жира в теле и пищевую ценность мяса цыплят-бройлеров // *Проблемы биологии продуктивных животных.* 2024. № 3. С. 31–57. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2024.3.31-57.
37. Nitikanchana S., Dritz S.S., Tokach M.D., et al. Regression analysis to predict growth performance from dietary net energy in growing-finishing pigs // *J. Anim. Sci.* 2015. Vol. 93. P. 2839–2868. DOI: 10.2527/jas.2015-9005.
38. Rao Z.X., Tokach M.D., Woodworth J.C., et al. Effects of Various Feed Additives on Finishing Pig Growth Performance and Carcass Characteristics: A Review // *Animals (Basel).* 2023. Vol.13, N 2. P. 1–18. DOI: 10.3390/ani13020200.
39. Hong J., Ndou S.P., Adams S., et al. Growth performance, visceral organ weights, and gut health of weaned pigs fed diets with different dietary fiber solubility and lipid sources // *J. Anim. Sci.* 2021. Vol. 99, N 11. P. 1–12. DOI: 10.1093/jas/skab292.
40. Asbaghi O., Ashtary-Larky D., Naseri K., et al. The effects of conjugated linoleic acid supplementation on lipid profile in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis // *Front. Nutr.* 2022. Vol. 9. P. 1–23. DOI: 10.3389/fnut.2022.953012.
41. Lehnen T.E., da Silva M.R., Camacho A., et al. A review on effects of conjugated linoleic fatty acid (CLA) upon body composition and energetic metabolism // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2015. Vol.12, N 36. P. 1–11. DOI: 10.1186/s12970-015-0097-4.
42. Panisson J.C., Maiorka A., Oliveira S.G., et al. Effect of ractopamine and conjugated linoleic acid on performance of late finishing pigs // *Animal.* 2020. Vol. 14, N 2. P. 277–284. DOI: 10.1017/S1751731119001708.
43. Marcolla C.S., Holanda D.M., Ferreira S.V., et al. Chromium, CLA, and ractopamine for finishing pigs // *J. Anim. Sci.* 2017. Vol. 95, N 10. P. 4472–4480. DOI: 10.2527/jas.2017.1753.
44. Ferronato G., Prandini A. Dietary Supplementation of Inorganic, Organic, and Fatty Acids in Pig: A Review // *Animals (Basel).* 2020. Vol. 10, N 10. P. 1–27. DOI: 10.3390/ani10101740.
45. Rosero D.S., Odle J., Mendoza S.M., et al. Impact of dietary lipids on sow milk composition and balance of essential fatty acids during lactation in prolific sows // *J. Anim. Sci.* 2015. Vol. 93. P. 2935–2947. DOI: 10.2527/jas.2014-8529.
46. Khatibjoo A., Mahmoodi M., Fattahnia F., et al. Effects of dietary short- and medium-chain fatty acids on performance, carcass traits, jejunum morphology, and serum parameters of broiler chickens // *J. Appl. Anim. Res.* 2017. Vol. 6. P. 492–498. DOI: 10.1080/09712119.2017.1345741.
47. Liu Y., Kil D.Y., Perez-Mendoza V.G., et al. Supplementation of different fat sources affects growth performance and carcass composition of finishing pigs // *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2018. Vol. 9. P. 1–8. DOI: 10.1186/s40104-018-0274-9.

## References

1. Varona E, Tres A, Rafecas M, et al. Composition and Nutritional Value of Acid Oils and Fatty Acid Distillates Used in Animal Feeding. *Animals*. 2021;11:1-20. DOI: 10.3390/ani11010196.
2. Wealleans AL, Bierinckx K, Di Benedetto M. Fats and oils in pig nutrition: Factors affecting digestion and utilization. *Animal Feed Science and Technology*. 2021;277:1-20(114950). DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2021.114950.
3. Thng A, Ting JX, Tay HR, et al. The use of predicted apparent metabolizable energy values to understand the oil and fat variability in broilers. *Online Journal of Animal and Feed Research*. 2020;10(4):150-157.
4. Acevedo-Fani A, Singh H. Biophysical insights into modulating lipid digestion in food emulsions. *Prog. Lipid Res*. 2022;85:101-129. DOI: 10.1016/j.plipres.2021.101129.
5. Nur Mahendra MY, Kamaludeen J, Pertiwi H. Omega-6: Its Pharmacology, Effect on the Broiler Production, and Health. *Vet. Med. Int*. 2023;1:3220-3244. DOI: 10.1155/2023/3220344.
6. Lauridsen C. Effects of dietary fatty acids on gut health and function of pigs pre- and post-weaning. *J. Anim. Sci*. 2020;98(4):1-12(skaa086). DOI: 10.1093/jas/skaa086.
7. Pozdnyakova N, Lushnikov N. Oils in the diet of pigs: which ones and how much? *Animal Husbandry of Russia*. 2022;2:32-34. DOI: 10.25701/ZZR.2022.02.02.004. (In Russ.).
8. Bromm JJ, Tokach MD, Woodworth JC, et al. Effects of fat source and level on growth performance and carcass characteristics of commercial finishing pigs. *Transl. Anim. Sci*. 2023;7(1):1-12(txad018). DOI: 10.1093/tas/txad018.
9. Ravindran V, Tancharoenrat P, Zaefarian F, et al. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilization. *Animal Feed Science and Technology*. 2016;213:1-21. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012.
10. Kerr BJ, Kellner TA, Shurson GC. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol*. 2015;6(1):1-23. DOI: 10.1186/s40104-015-0028-x.
11. *National Research Council. NRC Nutrient Requirements of Swine*. 11th ed. Washington: National Academies Press; 2012. 391 p.
12. Shurson GC, Kerr BJ, Hanson AR. Evaluating the quality of feed fats and oils and their effects on pig growth performance. *J. Anim. Sci. Biotech*. 2015;6:1-11. DOI: 10.1186/s40104-015-0005-4.
13. Shibabaw T. Omega-3 polyunsaturated fatty acids: anti-inflammatory and anti-hypertriglyceridemia mechanisms in cardiovascular disease. *Mol. Cell Biochem*. 2021;476:993-1003. DOI: 10.1007/s11010-020-03965-7.
14. Wang L, Chen Y, Yang Y, et al. Oils with different degree of saturation: effects on ileal digestibility of fat and corresponding additivity and bacterial community in growing pigs. *J. Animal Sci. Biotechnol*. 2024;15(21):1-12. DOI: 10.1186/s40104-023-00990-6.
15. Zhang Y, Peng S, Dong S, et al. Fatty acid-balanced oil improved nutrient digestibility, altered milk composition in lactating sows and fecal microbial composition in piglets. *Anim. Biosci*. 2024;37(5):883-895. DOI: 10.5713/ab.23.0359.
16. Zhan Z, Tang H, Zhang Y, et al. Potential of gut-derived short-chain fatty acids to control enteric pathogens. *Front. Microbiol*. 2022;13:1-12. DOI: 10.3389/fmicb.2022.976406.
17. Wang B, Hou J, Cao Y, et al. Dietary isobutyric acid supplementation improves intestinal mucosal barrier function and meat quality by regulating cecal microbiota and serum metabolites in weaned piglets. *Front. Vet. Sci*. 2025;12:1-16. DOI: 10.3389/fvets.2025.1565216.
18. Zheng L, Fleith M, Giuffrida F, et al. Dietary Polar Lipids and Cognitive Development: A Narrative Review. *Adv. Nutr*. 2019;10(6):1163-1176. DOI: 10.1093/advances/nmz051.
19. Boland M. Human digestion – a processing perspective. *J. Sci. Food Agric*. 2016;96(7):2275-2283. DOI: 10.1002/jsfa.7601.
20. Acevedo-Fani A, Dave A, Singh H. Nature-Assembled Structures for Delivery of Bioactive Compounds and Their Potential in Functional Foods. *Front. Chem*. 2020;8:1-22. DOI: 10.3389/fchem.2020.564021.

21. Lee S, Jo K, Jeong SK, et al. Strategies for modulating the lipid digestion of emulsions in the gastrointestinal tract. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2024;64(27):9740-9755. DOI: 10.1080/10408398.2023.2215873.
22. Calvo-Lerma J, Fornes-Ferrer V, Heredia A, et al. In vitro digestion of lipids in real foods: influence of lipid organization within the food matrix and interactions with nonlipid components. *J. Food Sci.* 2018;83(10):2629-2637. DOI: 10.1111/1750-3841.14343.
23. Dias CB, Moughan PJ, Wood LG, et al. Postprandial lipemia: factoring in lipemic response for ranking foods for their healthiness. *Lipids Health Dis.* 2017;16:1-12. DOI: 10.1186/s12944-017-0568-5.
24. Dias CB, Zhu XQ, Thompson AK, et al. Effect of the food form and structure on lipid digestion and postprandial lipaemic response. *Food Funct.* 2019;10(1):112-124. DOI: 10.1039/c8fo01698d.
25. Wang Q, Gao C, Yang N, et al. Effect of simulated saliva components on the in vitro digestion of peanut oil body emulsion. *RSC Adv.* 2021;11(49):30520-30531. DOI: 10.1039/d1ra03274g.
26. Brignot H, Feron G. Oral lipolysis and its association with diet and the perception and digestion of lipids: A systematic literature review. *Arch. Oral Biol.* 2019;108:1045-1050. DOI: 10.1016/j.archoralbio.2019.104550.
27. Chen JS. Food oral processing: mechanisms and implications of food oral destruction. *Trends Food Sci. Technol.* 2015;45(2):222-228. DOI: 10.1016/j.tifs.2015.06.012.
28. Kłosowska K, Del Castillo-Santaella T, Maldonado-Valderrama J, et al. The bile salt/phospholipid ratio determines the extent of in vitro intestinal lipolysis of triglycerides: Interfacial and emulsion studies. *Food Res. Int.* 2024;187:1-14. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114421.
29. D'Aquila T, Hung YH, Carreiro A., et al. Recent discoveries on absorption of dietary fat: presence, synthesis, and metabolism of cytoplasmic lipid droplets within enterocytes. *Bba-Mol. Cell Biol. L.* 2016;1861(8):730-747. DOI: 10.1016/j.bbalip.2016.04.012.
30. Guo Q, Ye AQ, Bellissimo N, et al. Modulating fat digestion through food structure design. *Prog. Lipid Res.* 2017;68:109-118. DOI: 10.1016/j.plipres.2017.10.001.
31. Pinheiro RRS, Watanabe PH, Araújo LRS, et al. Structured lipids from fish viscera and coconut oils improve weight gain and intestinal morphology of piglets at nursery phase. *Trop. Anim. Health Prod.* 2024;56(9):1-11. DOI: 10.1007/s11250-024-04235-0.
32. Lindblom SC, Dozier WA, Shurson GC, et al. Digestibility of energy and lipids and oxidative stress in nursery pigs fed commercially available lipids. *J. Anim. Sci.* 2017;95(1):239-247. DOI: 10.2527/jas.2016.0915.
33. Kerr BJ, Dozier WA., Shurson GC. Lipid digestibility and energy content of distillers' corn oil in swine and poultry. *J. Anim. Sci.* 2016;94(7):2900-2908. DOI: 10.2527/jas.2016-0440.
34. Kerr BJ, Wilson VC, Zhang J, et al. Influence of feeding thermally peroxidized lipids on the performance of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 2025;103:1-14. DOI: 10.1093/jas/skaf015.
35. Marçal DA, Kiefer C, Tokach MD, et al. Diet formulation method influences the response to increasing net energy in finishing pigs. *Transl. Anim. Sci.* 2019;3(4):1349-1358. DOI: 10.1093/tas/txz147.
36. Ashirov DA, Erimbetov SS, Nikulin VN, et al. The influence of environmental factors and biologically active feed additives on the accumulation of fat in the body and the nutritional value of broiler chicken meat. *Problems of Biology of Productive Animals.* 2024;3:31-57. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanim-biol.2024.3.31-57. (In Russ.).
37. Nitikanchana S, Dritz SS, Tokach MD, et al. Regression analysis to predict growth performance from dietary net energy in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 2015;93:2839-2868. DOI: 10.2527/jas.2015-9005.
38. Rao ZX, Tokach MD, Woodworth JC, et al. Effects of Various Feed Additives on Finishing Pig Growth Performance and Carcass Characteristics: A Review. *Animals (Basel).* 2023;13(2):1-18. DOI: 10.3390/ani13020200.
39. Hong J, Ndou SP, Adams S, et al. Growth performance, visceral organ weights, and gut health of weaned pigs fed diets with different dietary fiber solubility and lipid sources. *J. Anim. Sci.* 2021;99(11):1-12. DOI: 10.1093/jas/skab292.

40. Asbaghi O, Ashtary-Larky D, Naseri K, et al. The effects of conjugated linoleic acid supplementation on lipid profile in adults: A systematic review and dose-response meta-analysis. *Front. Nutr.* 2022;9:1-23. DOI: 10.3389/fnut.2022.953012.
41. Lehen TE, da Silva MR, Camacho A, et al. A review on effects of conjugated linoleic fatty acid (CLA) upon body composition and energetic metabolism. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2015;12(36):1-11. DOI: 10.1186/s12970-015-0097-4.
42. Panisson JC, Maiorka A, Oliveira SG, et al. Effect of ractopamine and conjugated linoleic acid on performance of late finishing pigs. *Animal.* 2020;14(2):277-284. DOI: 10.1017/S1751731119001708.
43. Marcolla CS, Holanda DM, Ferreira SV, et al. Chromium, CLA, and ractopamine for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 2017;95(10):4472-4480. DOI: 10.2527/jas2017.1753.
44. Ferronato G, Prandini A. Dietary Supplementation of Inorganic, Organic, and Fatty Acids in Pig: A Review. *Animals* (Basel). 2020;10(10):1-27. DOI: 10.3390/ani10101740.
45. Rosero DS, Odle J, Mendoza SM, et al. Impact of dietary lipids on sow milk composition and balance of essential fatty acids during lactation in prolific sows. *J. Anim. Sci.* 2015;93:2935-2947. DOI: 10.2527/jas.2014-8529.
46. Khatibjoo A, Mahmoodi M, Fattahnia F, et al. Effects of dietary short- and medium-chain fatty acids on performance, carcass traits, jejunum morphology, and serum parameters of broiler chickens. *J. Appl. Anim. Res.* 2017;6:492-498. DOI: 10.1080/09712119.2017.1345741.
47. Liu Y, Kil DY, Perez-Mendoza VG, et al. Supplementation of different fat sources affects growth performance and carcass composition of finishing pigs. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 2018;9:1-8. DOI: 10.1186/s40104-018-0274-9.

Статья принята к публикации 17.09.2025 / The article accepted for publication 17.09.2025.

Информация об авторах:

**Ольга Николаевна Родионова**, младший научный сотрудник лаборатории белково-аминокислотного питания, кандидат биологических наук

Information about the authors:

**Olga Nikolaevna Rodionova**, Junior Researcher, Laboratory of Protein and Amino Acid Nutrition, Candidate of Biological Sciences

