СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ БИОЛОГИЯ, 2022, том 57, № 4, с. 664-680

УДК 636.5:636.085.14:591.1 doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.664rus

ЖИРЫ И ЭМУЛЬГАТОРЫ В КОРМЛЕНИИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ*
(обзор)

Е.А. СИЗОВА✉, К.В. РЯЗАНЦЕВА

Рост цен на корма определяет необходимость в оптимизации нормирования высокоэнергетических ингредиентов рациона, а также в повышении эффективности их использования в процессе пищеварения. В промышленном птицеводстве жиры, обладая высокой энергетической ценностью, служат незаменимыми компонентами рациона (В.И. Фисинин с соавт., 2000; В.И. Фисинин с соавт., 2011). Они обеспечивают высокую продуктивность и экономическую эффективность (N.C. Baião с соавт., 2005; M. Nayebpor с соавт., 2007; H. Fébel с соавт., 2008), играют важную роль в регуляции обмена веществ, депонируют энергию, выполняя защитную функцию, служат растворителями и переносчиками витаминов, гормонов, а также обязательной составной частью нервной ткани (А.В. Архипов, 2010; M. Poorghasemi с соавт., 2013; R. Rodriguez-Sanchez с соавт., 2019). Для использования в рационах доступно широкое разнообразие жиров и масел и побочные продукты переработки, например животные жиры и растительные масла (соевое, кукурузное, подсолнечное, пальмовое, конопли, сурепицы и т.д.), подсолнечный фуз (побочный продукт переработки семян подсолнечника в растительное масло), подкисленные соапстоки (побочные продукты рафинирования растительного масла, в основном содержащие свободные жирных кислот), гидрогенизированные жиры (жиры или масла, которые превращаются в насыщенные посредством добавления атома водорода до удвоения связи ненасыщенных жирных кислот) (А.В. Архипов, 2007; В.А. Манукян с соавт., 2018; Л.Н. Скворцова с соавт., 2013). Выбор жира для использования в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы во многом определяется как его стоимостью, так и качественными характеристиками. Главный фактор, который влияет на высвобождение энергии из жира, поступающего в организм с кормом, — его усвояемость (V. Ravindran с соавт., 2016; R. Rodriguez-Sanchez с соавт., 2019; B. Jimenez-Moya с соавт., 2021). Переваривание жиров — сложный процесс, требующий достаточного количества солей желчных кислот и ферментов (S. Leeson с соавт., 2009). К тому же коррекция рациона липидами эффективна, но экономически нецелесообразна. Повышение цен на животные и растительные жиры в настоящее время стимулирует интерес к поиску и использованию альтернативных источников энергии в кормлении сельскохозяйственных животных либо веществ, усиливающих процессы переваривания и усвоения липидов, с целью снижения себестоимости продукции (С.А. Мирошников с соавт., 2005; О. Лютых, 2020). Одним из способов повышения количества доступных жиров может стать применение синтетических и натуральных эмульгаторов. Популярные эмульгаторы обычно состоят из гидрофильных и гидрофобных компонентов, которые могут снижать поверхностное натяжение жира и воды, уменьшать хиломикроны жира, улучшать эмульгирование и увеличивать всасывание жиров, восполнять дефицит желчной кислоты и липазы в пищеварительном тракте птицы (M. Rovers с соавт., 2014; M. Jansen с соавт., 2015). К натуральным эмульгаторам относят желчные кислоты и соли, включая холевую и хенодезоксихолевую, таурохолат, лецитин, казеин, фосфатидные концентраты, некоторые из которых могут вырабатываться в организме животного (M. Soares с соавт., 2002). Соли желчных кислот уменьшают натяжение границы раздела масло—вода, активируют липазу поджелудочной железы, а также предотвращают денатурацию этого фермента, когда он отделяется от поверхности капель эмульгированного жира (M. Boesjes с соавт., 2014; Y. Xu, 2016; X.K. Ge с соавт., 2019). Синтетические эмульгаторы (лизолецитин, лизофосфатидилхолин, моно- и диолеаты полиоксиэтиленгликоля) улучшают функцию печени и желчных протоков, ускоряют набор массы и улучшают конверсию корма, повышают показатели роста и усвояемость питательных веществ (B. Zhang с соавт., 2011; M.M. Gheisar с соавт., 2015; S.D. Upadhaya с соавт., 2018). Следовательно, стратегия применения эмульгаторов и ферментов может быть эффективным инструментом улучшения переваривания жиров как у молодой птицы с функционально незрелой пищеварительной системой, так и у взрослых особей для сокращения потерь корма за счет интенсификации процесса пищеварения. Использование такого подхода обеспечит повышенную переваримость и всасываемость питательных веществ при снижении доли растительных и животных жиров в рационе цыплят-бройлеров.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормление, рацион, жиры, масла, липиды, эмульгаторы, переваривание, микробиом.

В настоящее время промышленное птицеводство — пример эффек-

* Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021-2023 г. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

тивной системы производства мяса среди остальных отраслей животноводства (1, 2). Основное условие успешного развития и хорошей продуктивности сельскохозяйственной птицы — полноценное нормированное кормление (3, 4). Поскольку формирование организма происходит за счет питательных веществ корма (белки, жиры, углеводы, минеральные вещества и витамины), то скорость роста и развития, масса тела и продуктивность находятся в прямой зависимости от компонентного состава рациона и его процентного соотношения (5-7).

Термин «жир» обычно используется как синоним липида. Оба термина описывают разнообразные соединения, которые нерастворимы в воде, но растворяются в органических растворителях, таких как хлороформ, ацетон, спирт и диэтиловый эфир. Липиды играют важную роль в питании, биохимии и физиологии животных. С точки зрения питания важны триглицериды, фосфолипиды, стерины и жирорастворимые витамины (8).

Рост стоимости кормов определил повышенный интерес к использованию жировых добавок в рационе. Включение жира в рационы стало широко распространенной практикой в птицеводстве, которая позволяет удовлетворить высокие энергетические потребности быстрорастущих птиц (9-12). Вместе с жиром в организм также поступают незаменимые жирные кислоты и витамины (8, 13, 14). Однако есть некоторые проблемы, связанные с потреблением жиров, их количеством и усвояемостью у цыплят-бройлеров. Перевариваемость жира зависит от возраста птицы, а также от типа и источника жира (15).

Свободные жирные кислоты, высвобождаемые при переваривании жиров, могут вступать в реакцию с двухвалентными катионами, образуя растворимые или нерастворимые мыла. В случае образования нерастворимого мыла жирные кислоты и минералы могут стать недоступными для птицы. Двухвалентные ионы Ca^{2+}, присутствующие в корме, связываются с молекулами жирных кислот и приводят к образованию мыла, которое не всасывается и не переваривается, что приводит к потере жиров и кальция (16). Пищевые жиры также влияют на перевариваемость, всасывание, потребление и метаболизм многих других веществ, например углеводов, белков и минералов (17). Существует взаимосвязь между жировым составом туши и типом жира в кормах (18). Некоторые жиры, используемые в рационе, вызывают более сильное отложение жира в брюшной полости и приводят к отказу от такого продукта со стороны потребителей на рынках.

Альтернативой увеличения количества жира в рационах могут стать синтетические и натуральные эмульгаторы, интенсифицирующие его переваривание. Такой подход обеспечит повышенную переваримость и всасываемость питательных веществ при снижении количества вводимых в рацион растительных и животных жиров.

Цель настоящего обзора состоит в оценке эффективности использования различных источников жира в рационе, в анализе причин, влияющих на интенсивность переваривания и всасывания жиров, а также в сравнении способов управления указанными процессами с помощью различных веществ, в том числе эмульгаторов.

Роль и свойства жиров. Центральное место в теории кормления цыплят-бройлеров занимает энергетическое питание, в первую очередь содержание в рационе обменной энергии. Ключевое условие заключается в существенном увеличении количества энергии, используемой для синтеза продукции (19). Оптимальное содержание энергии в рационе обеспечивает высокую конверсию белка. Недостаток энергии приводит к тому, что аминокислоты начинают использоваться на энергетические цели, что

снижает продуктивность цыплят-бройлеров. Важно отметить, что при синтезе жира энергия переваренного белка используется хуже, чем энергия переваренных углеводов и жиров (20, 21).

Биологические функции липидов многообразны: они служат основной формой депонирования энергии в организме, источниками незаменимых жирных кислот, структурными компонентами биологических мембран, основой для последующего синтеза некоторых биологически активных веществ (22-25). Жиры могут улучшать физические свойства и вкусовые качества корма, способствуя таким образом увеличению его потребления (26, 27).

Наряду с жирами, энергетическими компонентами рациона служат углеводы и белки (28). Жиры могут синтезироваться в организме из углеводов (из 100 г крахмала образуется 25,2 г жира) и белков (из 100 г белка синтезируется 26 г жира) (29). Однако по энергетической емкости углеводы и белки различаются незначительно, в то время как энергонасыщенность жиров намного выше — примерно в 2,25 раза. Энергетическая ценность 1 г жира примерно равна 9,3 ккал, или 39 кДж, а при окислении 1 г углеводов образуется 17 кДж, 1 г белков — 24 кДж. Помимо того, что жир — это основной накопитель энергии, он также выступает структурным материалом в клетке и необходим для нормальной работы пищеварительных желез.

Жиры участвуют в регуляции обмена веществ (30-32), выполняют защитную функцию (благодаря депонированию в области внутренних органов и в подкожной жировой клетчатке) (33, 34), растворяют и переносят витамины и гормоны, а также входят в состав нервной ткани (35, 36).

Для использования в рационах доступно широкое разнообразие жиров и масел, в том числе побочные продукты переработки, например животные жиры и растительные масла (соевое, кукурузное, подсолнечное, пальмовое, конопли, сурепицы и т.д.), подсолнечный фуз (побочный продукт переработки семян подсолнечника в растительное масло), гидрогенизированные жиры и подкисленные соапстоки (свободные жирные кислоты удаляются из процесса рафинирования щелочью и осаждаются в виде щелочных мыл) (23, 25, 29). Эти жиры и масла значительно различаются по составу. Выбор жира для кормления сельскохозяйственных животных и птицы во многом определяется как его стоимостью, так и качественными характеристиками.

Главный фактор, который влияет на высвобождение энергии из жира, поступающего в организм с кормом, — его усвояемость. На усвояемость жиров и масел влияет множество причин. К ним относят число двойных связей, или степень ненасыщенности жирной кислоты, количество свободных жирных кислот и их положение в молекуле триглицерида, структуру рациона, пол и возраст птицы, состав кишечной микрофлоры (8, 37, 38).

Пищевая ценность жиров зависит как от их энергетического потенциала, так и от безопасности. Окисление становится основной причиной потери качества жира. Окислительное прогоркание — процесс, происходящий в ненасыщенных жирных кислотах при окислении двойной связи триглицеридов. Он влияет на запах, цвет и вкус и в итоге снижает ценность жира (39).

В настоящее время обосновано применение в качестве источников жиров жидких растительных масел, которые различаются соотношением насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Это обстоятельство определяет переваримость и использование птицей жиров. Кроме того, эти продукты служат дополнительным источником незаменимых жирных кислот (40).

Таким образом, жиры, обладая высокой энергетической ценностью,

представляют собой незаменимые компоненты рациона. Липиды играют важную роль в регуляции обмена веществ, депонируют энергию, выполняя защитную функцию организма, служат растворителями и переносчиками витаминов, гормонов, простагландинов, а также обязательной составной частью нервной ткани.

Жиры в рационе цыплят-бройлеров и их нормирование. В России структура рациона цыплят-бройлеров преимущественно основана на пшеничной или пшенично-ячменной кормовой смеси, что делает рационы дефицитными по энергии (41). В связи с повышением цен на зерновые корма в последние годы добавление жира в рационы сельскохозяйственных животных стало вынужденной мерой. Поскольку энергия, выделяемая в процессе переваривания жиров, выше, чем энергия углеводов, экономически обосновано увеличивать содержание жира в рационах бройлеров. В случае недостатка жиров нарушаются обменные процессы, функций печени, наблюдается нехватка витаминов А, Д, Е, К, возникают болезни кожи (дерматиты, нарушение оперения), как следствие, снижается иммунитет и происходят расстройства воспроизводительной функции (42, 43).

Согласно указаниям Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства (2010), рекомендуемая норма включения жиров и масел в комбикорма — 4-6 %, что положительно влияет на продуктивность, использование питательных веществ кормов и обмен веществ, в том числе липидный (табл. 1). Однако, поскольку содержание масла напрямую влияет на структуру и грануляцию корма, другие авторы рекомендуют вводить не более 4 % (5, 43).

1. Содержание обменной энергии, протеина, жиров, линолевой кислоты, ненасыщенных и насыщенных жирных кислот в рационах цыплят-бройлеров (1)

Фаза кормления, нед	Обменная энергия, кДж/100 г	Сырой протеин, %	Линолевая кислота, %	Жиры и масла, %	Жирные кислоты, %	
					ненасыщенные	насыщенные
1-3	1297	23,0	1,4	0-6	100	0
4-5	1318	21,0	1,3		75	25
6-7	1339	20,0	1,2	0-8	50	30

У молодых цыплят переваривание и всасывание жира неэффективно в силу низкой выработки естественной липазы (24). Активность и чистая дуоденальная секреция липазы увеличивается по мере взросления (44). Проблема усугубляется низкой скоростью синтеза солей желчных кислот у молодых особей (45). Однако такие физиологические особенности с возрастом нивелируются. В связи с этим для цыплят-бройлеров доля жира в рационе в первые 10-14 сут ограничивается 2,5-3,0 % (45-48).

Основной фактор усвояемости жиров и масел организмом — содержание в них насыщенных и ненасыщенных жирных кислот. Жиры животного происхождения состоят главным образом из насыщенных жирных кислот, а растительного — из ненасыщенных. Ненасыщенные жирные кислоты обеспечивают нормальный рост, обмен веществ, правильное функционирование кожи, эластичность сосудов и обмен холестерина в организме (49-51). Избыток приводит к перекисному окислению липидов, нарушению обменных процессов, снижению продуктивности и воспроизводительной функции птицы, а также к разрушению жирорастворимых витаминов, особенно витаминов А и Е (52, 53). Из растительных масел в качестве липидной добавки используют подсолнечное и рапсовое масла, реже льняное и пальмовое (54).

Растительное масло — легкодоступный источник обменной энергии. Его питательная ценность зависит от содержания жиров и витаминов, в

частности полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) (линолевая 50-60 %). Также растительные масла служат источниками витамина Е и β-каротина (55). В России в кормлении цыплят-бройлеров в качестве липидной добавки в основном используют подсолнечное масло. Однако, учитывая высокое содержание в нем линолевой кислоты (в рационе не более 1,8 %), что негативно сказывается на продуктивности, его применение ограничено.

Линолевая и α-линоленовая кислоты признаны метаболически незаменимыми жирными кислотами. Линолевая кислота — единственная незаменимая жирная кислота, потребность в которой подтверждена. Недостаток линолевой кислоты встречается редко. При нехватке возникает повышенная потребность в воде и снижение иммунного ответа. Дефицит линолевой кислоты у петушков может нарушить сперматогенез и влиять на фертильность (56). Недостаточное отложение линолевой кислоты в яйце отрицательно скажется на эмбриональном развитии (57). Потребность в незаменимых жирных кислотах у растущих и взрослых птиц обычно может быть удовлетворена при кормлении рационом с 1 % линолевой кислоты. Богаты линолевой кислотой масла рапса, конопли, льна и рыжика (23). Потребность птицы в α-линоленовой кислоте еще не доказана. Однако α-линоленовая кислота играет важную роль в развитии специализированных мембран сетчатки и нервной системы (58).

В отличии от России, в США основу комбикорма составляет кукуруза — высокоэнергетический продукт, который значительно повышает энергию рациона (59). Потребление энергии у цыплят-бройлеров может варьировать в зависимости от возраста, стадии выращивания и температуры окружающей среды и обычно составляет от 400 до 450 ккал МЕ на голову в сутки (или 1640-1845 кДж) (59). Вспомогательными энергетическими компонентами обычно служат рапсовое масло, животный и пальмовый жир (60).

Таким образом, использование растительных жиров в кормлении птиц, с одной стороны, необходимо для обеспечения физиологического процесса, с другой — представляет эффективный способ повышения энергетической ценности корма.

Переваривание жиров. Переваривание и всасывание жира происходит в несколько этапов и включает в себя эмульгирование (распад жира на капли), гидролиз липазой поджелудочной железы и образование смешанных мицелл, а также движение мицелл к эпителию кишечника и всасывание (61).

Переваривание жира значительно ускоряется при попадании в 12-перстную кишку. Желчь, образуясь в гепатоцитах, переходит в желчный пузырь, а затем в кишечник в 12-перстную кишку (64). Она содержит желчные пигменты, соли желчных кислот, фосфолипиды, холестерин, электролиты и некоторые белки. К основным компонентам желчи, необходимым для переваривания липидов, относятся соли желчных кислот и фосфолипиды (65). У домашней птицы соли желчных кислот соединяются с таурином в печени, что увеличивает их растворимость в воде, а также снижает клеточную токсичность солей желчных кислот. Соли желчных кислот — плоские амфифильные молекулы, одна сторона которых представляет собой неполярную гидрофобную поверхность и взаимодействует с водой, а другая сторона — полярную гидрофильную поверхностью, которая взаимодействует с масляной фазой эмульсии. Благодаря этой уникальной характеристике соли желчных кислот находятся на границе раздела вода—липид и не проникают глубоко (66).

Этот этап способствует эмульгированию и активирует липазу поджелудочной железы, а также предотвращает денатурацию липазы, когда она

покидает поверхность эмульгированных капель жира (65). Кормовой жир попадает в кишечник в виде довольно крупных коагулированных частиц. Присутствие желчи оказывает на пищевые липиды действие, подобное детергенту, в результате чего эта коагулированная масса распадается на очень мелкие стабильные капли (то есть предотвращает слипание) и общая площадь поверхности для действия липазы увеличивается (58).

Липаза — один из пищеварительных ферментов, секретируемых поджелудочной железой (также к ним относятся трипсин, химотрипсин, амилаза и фосфолипазы). Фермент действует как катализатор только тогда, когда он находится на поверхности капель эмульгированного жира вместе с солями желчных кислот и ко-липазой — кофактором, присутствующим в соке поджелудочной железы. Сама по себе ко-липаза не обладает ферментативной активностью, но необходима для инициации активности липазы поджелудочной железы. Ко-липаза богата как гидрофобными, так и гидрофильными аминокислотами и взаимодействует с липазой с образованием более гидрофобного и менее заряженного комплекса, что позволяет поддерживать липазу в активной конфигурации на границе раздела липид—вода. Считается, что характеристики заряда ко-липазы позволяют ей связываться с поверхностью капелек жира и действовать как «якорь» для липазы, давая ферменту возможность воздействовать на триглицериды. Ко-липаза и соли желчных кислот — конкурентные ингибиторы сайтов связывания на субстрате. Активность липазы поджелудочной железы подавляется высокими концентрациями солей желчных кислот, но восстанавливается ко-липазой (8).

Идентификация функциональных особенностей локальных участков кишечника при переваривании липидов имеет решающее значение для понимания полной картины пищеварения. Результаты изучения этой проблемы представлены в ограниченном числе работ и к тому же противоречивы. При поступлении жиров в 12-перстную кишку их переваривание значительно ускоряется. Присутствие жира в этом сегменте желудочно-кишечного тракта стимулирует секрецию холецистокинина, который, в свою очередь, регулирует секрецию панкреатического сока и желчи. Холецистокинин также стимулирует выделение желчи из желчного пузыря (63).

Тощая кишка — основное место переваривания и всасывания жира у домашней птицы (50), при этом пищеварение продолжается в верхнем отделе подвздошной кишки (67). Существуют различия в качественном составе жирных кислот в зависимости от участка кишечника (50). Линолевая кислота всасывается в кишечном тракте, начиная с 12-перстной кишки, тогда как всасывание пальмитиновой, стеариновой и олеиновой кислот начинается только в тощей кишке. Точные причины этих различий неясны, но отчасти их можно объяснить недостаточностью желчи в связи с анатомо-топографическими особенностями желчных протоков у птиц. Кроме того, прохождение химуса в 12-перстной кишке цыплят осуществляется очень быстро, и это время может быть недостаточным для эмульгирования насыщенных жирных кислот (68). В целом переваривание и всасывание жиров — сложный процесс, требующий достаточного количества солей желчных кислот, липазы поджелудочной железы и ко-липазы (69). Отсутствие или снижение количества любого из этих компонентов ухудшит процессы пищеварения и абсорбции.

Влияние жиров на микробиом кишечника сельскохозяйственной птицы. Желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) цыплят-бройлеров заселен сложным микробным сообществом, включающим грибы, археи, простейших и вирусы, но с преобладанием бактерий (70). Взаимодей-

ствия между организмом и микробной популяцией были тщательно изучены и проанализированы многими исследовательскими группами (71-75), и в настоящее время считается, что микроорганизмы играют важную роль в питании птиц, физиологии и развитии кишечника (76-79). Качественный и количественный состав микробиоты и, следовательно, ее функционал зависят от локализации в ЖКТ. Существует значительная разница в таксономическом составе различных отделов пищеварительного тракта, поэтому их можно рассматривать как отдельные экосистемы, несмотря на то, что они взаимосвязаны (80).

Микробиота играет жизненно важную роль в пищеварении и усвоении питательных веществ, развитии иммунной системы и идентификации патогенов (83-85). Состав и функции микробного сообщества варьируют в зависимости от возраста птицы, локализации в ЖКТ, а также потребляемых ингредиентов (79, 81, 86). Следует отметить, что таксономические профили, описанные для каждого отдела ЖКТ, значительно различаются в исследованиях и зависят от таких факторов, как порода (кросс), пол, генотип, рацион, возраст, отдел кишечника, использование антибактериальных препаратов, что затрудняет определение типового профиля для каждого отдела (82, 87).

Ингредиентный состав рациона оказывает важное влияние на состав микробиоты кишечника (88). В связи с этим существенное внимание уделяется роли компонентов рациона в формировании микрофлоры кишечника (87). Однако рационы с высоким содержанием жиров еще недостаточно тщательно исследованы с точки зрения их влияния на микрофлору. Поедание корма с высоким содержанием жиров обычно приводит к росту числа представителей *Firmicutes* и вызывает изменения микробиоты, явно связанные с ожирением и патологией пищеварения. К тому же увеличивается количество липофильных бактерий (*Verrucomicrobia*, *Deltaproteobacteria*, *Ruminococcus*, *Lachnospiraceae*, *Bacteroidaceae*) (89). Несмотря на то, что бактерии этих групп преимущественно не относятся к патогенным или даже полезны для организма при нормальном питании, в условиях высокого потребления жиров кумулятивные продукты их метаболизма могут приводить к множественным отрицательным эффектам. В ряде работ (90-93) отмечается, что при высокожировой диете увеличивается количество *Actinobacteria, Proteobacteria* и *Deferribacteres* и снижается количество *Spirochaetae*. Кроме того, возрастает доля *Collinsella*, *Streptococcus*, *Gemella* и *Elusimicrobium*. В модельном эксперименте на мышах анализ кишечной микробиоты показал, что кормление высокожировым рационом значительно изменило ее состав, повысив численность *Firmicutes* и уменьшив популяцию *Bacteroidetes*, что привело к значительному снижению соотношения *Bacteroidetes/Firmicutes*. Более того, увеличились популяции *Clostridia* и *Deferribacteres*, *Ruminococcaceae*, *Lachnospiraceae* и *Bacteroidaceae*, а популяция *Bacteroidales* уменьшилась. Таким образом, кормление рационом с высоким содержанием жира нарушало качественный и количественный состав кишечной микробиоты (94, 95). В другом исследовании при оценке влияния жиров на микробиоту выявили повышенное содержание *Firmicutes* и *Proteobacteria*, наблюдалось также увеличение численности *Clostridia*, *Bacilli* и *Deltaproteobacteria* (96).

Сообщалось, что высокое содержании жира в рационе вызывает дисбаланс в составе кишечной микробиоты птицы, в результате увеличивается проницаемость кишечника с образованием хронического воспаления и предрасположенность к пищевой аллергии (97).

Таким образом, микробиота кишечника играет важную роль в пи-

щеварении, а качественный и количественный состав микробных сообществ зависит от возраста птицы, отдела ЖКТ и компонентов рациона (92). Следует, однако, отметить, что по большей части полученные к настоящему времени результаты этих экспериментов противоречивы или неубедительны. Сложность в идентификации конкретных популяций бактерий, улучшающих пищеварение и продуктивность, не позволяет изменить микробиоту до желаемой, учитывая, что причинно-следственные связи неясны. Для разработки инновационных инструментов и технологий, которые могут способствовать неинвазивному мониторингу микробиоты кишечника, необходимы дальнейшие исследования (98).

Альтернативные источники жиров и эмульгаторы в кормлении цыплят-бройлеров. Повышение цен на животные и растительные жиры в настоящее время побуждает к поиску и использованию альтернативных источников энергии в кормлении сельскохозяйственных животных с целью снижения себестоимости продукции (99, 100). Для этого могут использоваться компоненты с высокой обменной энергией, такие как соапсток, в том числе соевый, фосфатиды, концентрат кальциевых солей жирных кислот, жирный кизельгур и глицерин (101, 102). Возможность применения глицерина подкреплена рядом исследований, которые подтвердили его безопасность и положительное влияние при включении в рацион в количестве не более 5 %. Однако было показано, что увеличение содержания глицерина в рационе выше 10 % отрицательно влияет на показатели роста и выход мяса цыплят-бройлеров (103-105). Основная проблема при промышленном использовании указанных источников жира заключается в технологической трудности их ввода в комбикорма и кормовые смеси и отсутствии широкомасштабных исследований по их применению.

Один из факторов, ограничивающих использование высокого количества жира в рационе бройлеров, — сложность его трансформации, поскольку у молодых птиц пищеварительный тракт недостаточно развит для синтеза и секреции солей желчных кислот и липазы, а всасывание и переваривание большого количества пищевых липидов оказывается неэффективным (45, 106). С целью повышения усвоения липидов в кормовой промышленности используют эмульгирующие вещества. Популярные сегодня эмульгаторы обычно состоят из гидрофильных и гидрофобных компонентов, которые могут снижать поверхностное натяжение жира и воды, уменьшать хиломикроны жира, улучшать эмульгирование и увеличивать всасывание жиров, восполнять дефицит желчной кислоты и липазы в пищеварительном тракте птицы.

2. Основные свойства эмульгаторов, используемых в комбикормах

Показатель	Тип эмульгатора	
	гидрофобный (фосфолипиды)	гидрофильный (специальные белки)
Связывание жира	1:8	1:10
Количество стабилизируемого жира на 1 г эмульгатора, г	900	1500
Усвоение жира в организме, %	До 90	95 и выше
Состав эмульгатора, %:		
жир	92	2
белок	2-4	92-95

Основной показатель, по которому различаются гидрофобные и гидрофильные эмульгаторы, — гидрофильно-липофильный баланс (ГЛБ) (табл. 2). Он показывает соотношение двух противоположных групп молекул — гидрофильной и гидрофобной (липофильной). Эмульгаторы с низким ГЛБ (липофильные) лучше растворяются в жире, а эмульгаторы с высоким ГЛБ (гидрофильные) — в воде (114). Поскольку животные и птицы потребляют

в день почти в 2 раза больше воды, чем корма, в их кишечнике образуется водная среда, а значит, гидрофильный эмульгатор предпочтительнее как по эффективности, так и по скорости воздействия (115). В присутствии эмульгатора капли масла распределяются в эмульсиях масло—вода, что приводит к эффективному перевариванию и всасыванию жира (табл. 3).

3. Эмульгаторы, используемые в птицеводстве

Эмульгирующие вещества	Основной эффект
	Натуральные
Желчные кислоты и соли (включая холевую и хенодезоксихолевую кислоты, таурохолат)	Действуют как эмульгаторы, которые диспергируют жир на мелкие капельки в водной среде после попадания жира в желудочно-кишечный тракт, а также повышают метаболическую энергию, снижают холестерин в плазме крови, улучшают усвоение пищевых жиров из-за органической эндогенной секреции (45, 65, 115, 116)
Лецитин	Снижает содержание холестерина и липопротеины низкой плотности (ЛПНП) в сыворотке крови; улучшает усвояемость общей энергии, сухого вещества; усиление антиокислительного действия токоферолов (витамина Е), способен увеличивать проницаемость клеточных мембран, что обеспечивает лучшую адсорбцию жиров и жирорастворимых биологически активных веществ (17, 117)
Казеин	Снижает содержание холестерина и ЛПНП в сыворотке крови; повышает переваримость (118)
	Синтетические
Лизолецитин, лизофосфатидилхолин, моно- и диолеаты полиоксиэтиленгликоля	Противоречивые результаты; улучшают функцию печени и желчных протоков; ускоряют набор массы и улучшают конверсию корма; повышают показатели роста и усвояемость питательных веществ (119-121)

Натуральные эмульгаторы вырабатываются в организме животного, к ним относятся желчные кислоты, фосфатидные концентраты, а также казеин (122). Амфифильные молекулы солей желчных кислот действуют как эмульгаторы, уменьшая натяжение границы раздела масло—вода (123-125). Казеин как натуральный эмульгатор стал важной кормовой добавкой. Основные источники казеина — сухое обезжиренное молоко и растворимые казеинаты, которые представляют собой гетерогенные белковые агрегаты (126). Широкое применение в практике нашел соевый лецитин — побочный продукт переработки соевого масла, который служит эмульгатором жиров. Производители выпускают лецитин в нескольких видах: обезжиренные добавки в форме порошка, стандартные (жидкие формы), а также лизолецитины (гидролизированные лецитины) (122, 127-129).

К основным производителям эмульгаторов относятся Нидерланды («FRAmelco», «Orffa Additives B.V.»), Германия («Berg+Schmidt», «Biochem GmbH» — Bredol®), США («Archer-Daniels-Midland Company — ADM»), Россия («Kemin», «Апекс Плюс», «ТЕХВЕТ», «Cargill», ГК «Содружество»).

Изучение синтетических эмульгаторов дало противоречивые результаты (119). Лишь в нескольких публикациях сообщалось об улучшении показателей роста и усвояемости питательных веществ у цыплят-бройлеров (120, 121). Также установлено (130, 131), что эмульгаторы не оказывают значительного влияния на показатели роста цыплят-бройлеров. Различия в эффективности экзогенных эмульгаторов можно объяснить многими факторами — типом жира, возрастом птицы, активностью липазы и состоянием гидрофильно-липофильного баланса.

Использование в кормлении цыплят-бройлеров эмульгаторов, состоящих из бидистиллированной олеиновой кислоты растительного происхождения и глицерина, полиэтиленгликоля, рицинолеата, положительно сказалось на росте, эффективности использования корма и метаболизме липидов (112).

Таким образом, множество исследований доказывают положительное влияние эмульгаторов на ростовые показатели и усвояемость питательных веществ (119, 132-134), а также на снижение содержания холестерина

и триглицеридов в сыворотке крови. Добавление эмульгаторов в корм обеспечивает улучшение пищеварения и всасывание жиров у птицы в раннем возрасте и приводит к улучшению показателей роста (44). Эмульгирующие вещества нашли широкое применение в кормлении, повышая усвояемость липидов, тем самым сокращая потребление корма и оказывая положительное влияние на ростовые показатели.

Итак, жиры обеспечивают организм энергией и улучшают продуктивность птицы. При совершенствовании рационов цыплят-бройлеров актуально применение альтернативных источников жиров. Одним из подходов повышения количества доступных жиров может стать применение синтетических (лизолецитин, лизофосфатидилхолин, моно- и диолеаты полиоксиэтиленгликоля) и натуральных (желчные кислоты и соли, включая холевую и хенодезоксихолевую, таурохолат, лецитин, казеин, фосфатидные концентраты) эмульгаторов. Соли желчных кислот уменьшают натяжение границы раздела масло—вода, активируют липазу поджелудочной железы, а также предотвращают ее денатурацию. Синтетические эмульгаторы улучшают функцию печени и желчных протоков, ускоряют набор массы и улучшают конверсию корма, повышают показатели роста и усвояемость питательных веществ. Использование эмульгаторов в кормлении сельскохозяйственной птицы позволяет снизить стоимость комбикормов за счет меньшего количества растительных и животных жиров в рационе. Подобный подход обеспечивает повышенную переваримость и всасываемость питательных веществ как у молодой птицы с функционально незрелой пищеварительной системой, так и у взрослых особей и, как следствие, сокращает потери корма за счет интенсификации процесса пищеварения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фисинин В.И., Егоров И.А., Околелова Т.М., Имангулов Ш.А. *Кормление сельскохозяйственной птицы.* Сергиев Посад, 2000.
2. Фисинин В.И., Егоров И.Л., Драганов И.Ф. *Кормление сельскохозяйственной птицы.* М., 2011.
3. Егоров И.А., Имангулов Ш.А. Совершенствование системы нормированного питания птицы высокопродуктивных кроссов в современных условиях. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, 2005, 5: 36-38.
4. Лебедев С.В. *Элементный статус, обмен энергии и продуктивность кур в условиях различной нутриентной обеспеченности. Докт. дис.* Оренбург, 2009.
5. Рахматуллин Ш.Г. *Обмен веществ и элементный статус цыплят-бройлеров при различном уровне обменной энергии и содержании микроэлементов в рационе. Автореф. канд. дис.* Оренбург, 2009.
6. Козина Е.А. *Нормированное кормление животных и птицы. Часть II. Кормление моногастричных животных, птицы, пушных зверей, собак и кошек: уч. пос.* Красноярск, 2012.
7. Рязанцева К.В., Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Нормирование минерального питания цыплят-бройлеров (обзор). *Животноводство и кормопроизводство*, 2021, 104(1): 119-137.
8. Ravindran V., Tancharoenrat P., Zaefarian F., Ravindran G. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Animal Feed Science and Technology*, 2016, 213: 1-21 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012).
9. Фисинин В.И., Егоров И.А., Ленкова Т.Н., Паньков П.Н., Розанов Б.Л., Егорова Т.В., Топорков Н.В., Османян А.К., Штеле А.Л., Галкин В.А., Бабаянц В.В., Кузнецов А.С. *Использование сухих растительных (пальмовых) жиров в кормлении высокопродуктивной птицы.* Сергиев Посад, 2008.
10. Лебедев С.В., Левахин Г.И, Губайдуллина И.З., Маркова И.В., Шейда Е.В. Влияние различных источников протеина в рационе на всасывание питательных веществ в желудочно-кишечном тракте животного. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 2018, 74(6): 205-208.
11. Лебедев С.В., Шейда Е.В., Вершинина И.А., Губайдуллина И.З., Мирошников И.С., Рязанов В.А., Макаева А.М., Маркова И.В., Ушаков А.С. Влияние различных источников жира в рационе на переваримость и активность пищеварительных ферментов у телят.

Животноводство и кормопроизводство, 2019, 102(4): 198-207 (doi: 10.33284/2658-3135-102-4-198).
12. Осепчук Д.В., Журавлев А.В. Сухие пальмовые жиры взамен подсолнечного масла в комбикормах для цыплят-бройлеров. *Труды Кубанского государственного аграрного университета,* 2013, 43: 241-243.
13. Viñado A., Castillejos L., Rodriguez-Sanchez R., Barroeta A.C. Crude soybean lecithin as alternative energy source for broiler chicken diets. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 5601-5612 (doi: 10.3382/ps/pez318).
14. Коденцова В.М., Кочеткова А.А., Смирнова Е.А., Саркисян В.А., Бессонов В.В. Состав жирового компонента рациона и обеспеченность организма жирорастворимыми витаминами. *Вопросы питания*, 2014, 83(6): 4-17 (doi: 10.24411/0042-8833-2014-00056).
15. Mohammed H.A., Horniakova E. Effect of using saturated and unsaturated fat with mixing them in broiler diet on blood parameter. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2011, 1(3): 309-322.
16. Tabeidian S.A., Ghafoori M., Bahrami Y., Chekani-Azar S., Toghyani M. Effect of different levels of dietary fat on broiler performance and production cost with emphasis on calcium and phosphorus absorption. *Global Veterinaria*, 2010, 5: 54-60.
17. Siyal F., Babazadeh D., Wang C., Arain M.A., Saeed M., Ayasan T., Zhang L., Wang T. Emulsifiers in the poultry industry. *World's Poultry Science Journal*, 2017, 73(3): 611-620 (doi: 10.1017/S0043933917000502).
18. Crespo N., Esteve-Garcia E. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Science*, 2001, 80(1): 71-78 (doi: 10.1093/ps/80.1.71).
19. Barzegar S., Wu S.B., Choct M., Swick R.A. Factors affecting energy metabolism and evaluating net energy of poultry feed. *Poultry Science*, 2020, 99(1): 487-498 (doi: 10.3382/ps/pez554).
20. Лихобабина Л.Н. Эффективность использования фосфолипидов в кормлении мясных цыплят. *Мат. III науч.-практ. конф. «Перспективные направления в производстве и использовании комбикормов и балансирующих добавок»*. Дубровицы, 2003: 65-66.
21. Carré B., Lessire M., Juin H. Prediction of the net energy value of broiler diets. *Animal*, 2014, 8(9): 1395-1401 (doi: 10.1017/S175173111400130X).
22. Cortinas L., Villaverde C., Galobart J., Baucells M.D., Codony R., Barroeta A.C. Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. *Poultry Science*, 2004, 83(7): 1155-1164 (doi: 10.1093/ps/83.7.1155).
23. Архипов А.В. *Липидное питание, продуктивность птицы и качество продуктов птицеводства*. М., 2007.
24. Allahyari-Bake S., Jahanian R. Effects of dietary fat source and supplemental lysophosphatidylcholine on performance, immune responses, and ileal nutrient digestibility in broilers fed corn/soybean meal-or corn/wheat/soybean meal-based diets. *Poultry Science*, 2017, 96(5): 1149-1158 (doi: 10.3382/ps/pew330).
25. Манукян В.А., Байковская Е.Ю., Сенников В.П. Льняной жмых и льняное масло в комбикормах для яичных кур. *Птицеводство*, 2018, 5: 12-15.
26. Chwen L.T., Foo H.L., Thanh N.T., Choe D.W. Growth performance, plasma fatty acids, villous height and crypt depth of preweaning piglets fed with medium chain triacylglycerol. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2013, 26(5): 700-704 (doi: 10.5713/ajas.2012.12561).
27. Nagadi S.A., de Oliveira A.A. Dietary distilled fatty acids and antioxidants improve nutrient use and performance of Japanese male quails. *Animal Science Papers and Reports*, 2019, 37(1): 65-74 (doi: 10.13140/RG.2.2.23000.03846).
28. Рубан Н.А., Цап С.В., Орищук О.С. Продуктивность молодняка гусей при разных уровнях соевого и подсолнечникового лецитина в комбикормах. *Научно-технический бюллетень Института животноводства Национальной академии аграрных наук Украины*, 2016, 115: 189-194.
29. Скворцова Л.Н., Свистунов А.А. Применение различных видов жиров в кормлении птицы. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*, 2013, 16(1): 68-74.
30. Azman M.A., Konar V., Seven P.T. Effects of different dietary fat sources on growth performances and carcass fatty acid composition of broiler chickens. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 2004, 155(5): 278-286.
31. Baião N.C., Lara L.J. Oil and fat in broiler nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 2005, 7(3): 129-141 (doi: 10.1590/S1516-635X2005000300001).
32. Nayebpor M., Hashemi A., Farhomand P. Influence of soybean oil on growth performance, carcass properties, abdominal fat deposition and humoral immune response in male broiler chickens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2007, 6(11): 1317-1322.
33. Fébel H., Mezes M., Palfy T., Herman A., Gundel J., Lugasi A., Blazovics A. Effect of dietary fatty acid pattern on growth, body fat composition and antioxidant parameters in broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2008, 92(3): 369-376 (doi: 10.1111/j.1439-0396.2008.00803.x).
34. Архипов А.В. Липидная питательность мяса птицы и влияние на нее факторов питания. *Вестник ФГОУ ВПО Брянская ГСХА,* 2010, 1: 16-24.

35. Poorghasemi M., Seidavi A., Qotbi A.A., Laudadio V., Tufarelli V. Influence of dietary fat source on growth performance responses and carcass traits of broiler chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,* 2013, 26(5): 705-710 (doi: 10.5713/ajas.2012.12633).
36. Okur N. The effects of soy oil, poultry fat and tallow with fixed energy: protein ratio on broiler performance. *Archives Animal Breeding*, 2020, 63(1): 91-101 (doi: 10.5194/aab-63-91-2020).
37. Rodriguez-Sanchez R., Tres A., Sala R., Guardiola F., Barroeta A.C. Evolution of lipid classes and fatty acid digestibility along the gastrointestinal tract of broiler chickens fed different fat sources at different ages. *Poultry Science,* 2019, 98(3): 1341-1353 (doi: 10.3382/ps/pey458).
38. Jimenez-Moya B., Barroeta A.C., Tres A., Soler M.D., Sala R. Soybean oil replacement by palm fatty acid distillate in broiler chicken diets: fat digestibility and lipid-class content along the intestinal tract. *Animals*, 2021, 11(4): 1035 (doi: 10.3390/ani11041035).
39. Wealleans A.L., Buyse J., Scholey D., Van Campenhout L., Burton E., Di Benedetto M., Pritchard S., Nuyens F., Jansen M. Lysolecithin, but not lecithin, improves nutrient digestibility and growth rates in young broilers. *British Poultry Science*, 2020, 61(4): 414-423 (doi: 10.1080/00071668.2020.1736514).
40. Околелова Т.М., Кулаков А.В., Кулаков П.А. *Качественное сырье и биологически активные добавки — залог успеха в птицеводстве*. Сергиев Посад, 2007.
41. Власов А.Б. Использование жировых добавок в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*, 2012, 77: 710-719.
42. Кононенко С.И. Липидное питание цыплят-бройлеров. *Зоотехническая наука Беларуси*, 2013, 48(1): 299-306.
43. Кузнецова А. Защищенный жир в кормлении птицы. *Эффективное животноводство*, 2019, 4(152): 28-29.
44. San Tan H., Zulkifli I., Farjam A.S., Goh Y.M., Croes E., Partha S.K., Tee A.K. Effect of exogenous emulsifier on growth performance, fat digestibility, apparent metabolisable energy in broiler chickens. *Journal of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology*, 2016, 4(1): 7-10 (doi: 10.54987/jobimb.v4i1.281).
45. Lai W., Huang W., Dong B., Cao A., Zhang W., Li J., Wu H., Zhang L. Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens. *Poultry Science*, 2018, 97(1): 196-202 (doi: 10.3382/ps/pex288).
46. Егоров И.А., Топорков Н.В. Значение жиров в комбикормах цыплят-бройлеров. *Комбикорма*, 2005, 1: 60-62.
47. Фисинин В.И., Егоров И.А., Егорова Т.В., Околелова Т.М. *Руководство по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы*. Сергиев Посад, 2012.
48. Егоров И.А., Егорова Т.В., Попова М., Савчук С. Жиры разного происхождения в комбикормах для цыплят-бройлеров. *Комбикорма*, 2014, 12: 64-66.
49. Mossab A., Hallouis J.M., Lessire M. Utilization of soybean oil and tallow in young turkeys compared with young chickens. *Poultry Science*, 2000, 79(9): 1326-1331 (doi: 10.1093/ps/79.9.1326).
50. Tancharoenrat P., Ravindran V., Zaefarian F., Ravindran G. Digestion of fat and fatty acids along the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poultry Science*, 2014, 93(2): 371-379 (doi: 10.3382/ps.2013-03344).
51. Sampels S., Zajíc T., Mráz J. Increasing the omega-3 content of traditional meat products by the addition of an underutilised by-product from fish processing. *Czech Journal of Food Sciences*, 2015, 33: 431-440 (doi: 10.17221/35/2015-CJFS).
52. Комов В.П., Шведова В.Н. *Биохимия*. М., 2004.
53. Егоров И.А., Штеле А.Л., Топорков Н.В. Сухие растительные жиры в рационах высокопродуктивной птицы. *Вестник РАСХН*, 2007, 3: 31-34.
54. Свистунов А.А. *Использование пребиотических и жировых добавок в кормлении цыплят-бройлеров. Автореф. канд. дис.* Краснодар, 2014.
55. Мальцев А.Б., Ядрищенская О.А., Селина Т.В. Легкодоступные источники обменной энергии. *Птица и птицепродукты,* 2016, 1: 41-43.
56. Aydin R., Karaman M., Toprak H.H.C., Ozugur A.K., Aydin D., Cicek T. The effect of long-term feeding of conjugated linoleic acid on fertility in Japanese quail. *South African Journal of Animal Science*, 2006, 36(2): 99-104 (doi: 10.4314/sajas.v36i2.3991).
57. Leone V.A., Stransky D.L., Aydin R., Cook M.E. Evidence for conjugated linoleic ac-id-induced embryonic mortality that is independent of egg storage conditions and changes in egg relative fatty acids. *Poultry Science,* 2009, 88(9): 1858-1868 (doi: 10.3382/ps.2009-00157).
58. Cherian G. Nutrition and metabolism in poultry: role of lipids in early diet. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2015, 6(1): 28 (doi: 10.1186/s40104-015-0029-9).
59. National Research Council. *Nutrient requirements of poultry: ninth revised edition*. Washington, DC, The National Academies Press, 1994 (doi: 10.17226/2114).

60. Skřivan M., Marounek M., Englmaierová M., Čermák L., Vlčková J., Skřivanová E. Effect of dietary fat type on intestinal digestibility of fatty acids, fatty acid profiles of breast meat and abdominal fat, and mRNA expression of lipid-related genes in broiler chickens. *PLoS ONE*, 2018, 13(4): e0196035 (doi: 10.1371/journal.pone.0196035).
61. Elnesr S.S., Alagawany M., Elwan H.A., Fathi M.A., Farag M.R. Effect of sodium butyrate on intestinal health of poultry — a review. *Annals of Animal Science*, 2020, 20(1): 29-41 (doi: 10.2478/aoas-2019-0077).
62. Sacranie A., Svihus B., Denstadli V., Moen B., Iji P.A., Choct M. The effect of insoluble fiber and intermittent feeding on gizzard development, gut motility, and performance of broiler chickens. *Poultry Science*, 2012, 91(3): 693-700 (doi: 10.3382/ps.2011-01790).
63. Wang B.J., Cui Z.J. How does cholecystokinin stimulate exocrine pancreatic secretion? From birds, rodents, to humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 2007, 292(2): R666-R678 (doi: 10.1152/ajpregu.00131.2006).
64. Monte M.J., Marin J.J., Antelo A., Vazquez-Tato J. Bile acids: chemistry, physiology, and pathophysiology. *World Journal of Gastroenterology*, 2009, 15(7): 804-816 (doi: 10.3748/wjg.15.804).
65. Marin J.J., Macias R.I., Briz O., Banales J.M., Monte M.J. Bile acids in physiology, pathology and pharmacology. *Current Drug Metabolism*, 2016, 17(1): 4-29 (doi: 10.2174/1389200216666151103115454).
66. Alzawqari M., Moghaddam H., Kermanshahi H., Raji A.R. The effect of desiccated ox bile supplementation on performance, fat digestibility, gut morphology and blood chemistry of broiler chickens fed tallow diets. *Journal of Applied Animal Research*, 2011, 39(2): 169-174 (doi: 10.1080/09712119.2011.580999).
67. Gabriel I., Lessiire M., Mallet S., Guillot J. Microflora of the digestive tract: critical factors and consequences for poultry. *World's Poultry Science Journal,* 2006, 62(3): 499-511 (doi: 10.1017/S0043933906001115).
68. Ravindran V. Feed enzymes: the science, the practice and the metabolic realities. *Journal of Applied Poultry Research,* 2013, 22(3): 636-644 (doi: 10.3382/japr.2013-00739).
69. Leeson S., Summers J.D. *Commercial poultry nutrition*. Nottingham University Press, 2009.
70. Zhu X.Y., Zhong T., Pandya Y., Joerger R.D. 16S rRNA-based analysis of microbiota from the cecum of broiler chickens. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68(1): 124-137 (doi: 10.1128/AEM.68.1.124-137.2002).
71. Danzeisen J.L. Kim H.B., Isaacson R.E., Tu Z.J., Johnson T.J. Modulations of the chicken cecal microbiome and metagenome in response to anticoccidial and growth promoter treatment. *PloS ONE*, 2011, 6(11): e27949 (doi: 10.1371/journal.pone.0027949).
72. Pan D., Yu Z. Intestinal microbiome of poultry and its interaction with host and diet. *Gut Microbes*, 2014, 5(1): 108-119 (doi: 10.4161/gmic.26945).
73. Hegde N.V., Kariyawasam S., DebRoy C. Comparison of antimicrobial resistant genes in chicken gut microbiome grown on organic and conventional diet. *Veterinary and Animal Science*, 2016, 1: 9-14 (doi: 10.1016/j.vas.2016.07.001).
74. Mancabelli L. Ferrario C., Milani C., Mangifesta M., Turroni F., Duranti S., Lugli G.A., Viappiani A., Ossiprandi M.C., van Sinderen D., Ventura M. Insights into the biodiversity of the gut microbiota of broiler chickens. *Environmental Microbiology*, 2016, 18(12): 4727-4738 (doi: 10.1111/1462-2920.13363).
75. Kumar S., Chen C., Indugu N., Werlang G.O., Singh M., Kim W.K., Thippareddi H. Effect of antibiotic withdrawal in feed on chicken gut microbial dynamics, immunity, growth performance and prevalence of foodborne pathogens. *PloS ONE*, 2018, 13(2): e0192450 (doi: 10.1371/journal.pone.0192450).
76. Kau A.L., Ahern P.P., Griffin N.W., Goodman A.L., Gordon J.I. Human nutrition, the gut microbiome and the immune system. *Nature*, 2011, 474(7351): 327-336 (doi: 10.1038/nature10213).
77. Gerritsen J., Smidt H., Rijkers G.T., de Vos W.M. Intestinal microbiota in human health and disease: the impact of probiotics. *Genes and Nutrition*, 2011, 6(3): 209-240 (doi: 10.1007/s12263-011-0229-7).
78. Фисинин В.И., Лаптев Г.Ю., Егоров И.А., Грозина А.А., Ленкова Т.Н., Манукян В.А., Никонов И.Н., Ильина Л.А., Новикова Н.И., Йылдырым Е.А., Филлипова В.А., Дубровин А.В., Горфункель А., Буркова О.Ю., Егорова Т.В., Егорова Т.А., Косилов А.Н., Пазникова Г.А., Уфимцева Н.Ф. *Современные представления о микрофлоре кишечника птицы при различных рационах питания: молекулярно-генетические подходы.* Сергиев Посад, 2017.
79. Apajalahti J., Kettunen A., Graham H. Characteristics of the gastrointestinal microbial communities, with special reference to the chicken. *World's Poultry Science Journal*, 2004, 60(2): 223-232 (doi: 10.1079/WPS200415).
80. Wielen P.W.J.J., Keuzenkamp D.A., Lipman L.J.A., Knapen F., Biesterveld S. Spatial and temporal variation of the intestinal bacterial community in commercially raised broiler chickens during growth. *Microbial Ecology*, 2002, 44(3): 286-293 (doi: 10.1007/s00248-002-2015-y).

81. Rehman H.U., Vahjen W., Awad W.A., Zentek J. Indigenous bacteria and bacterial metabolic products in the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Archives of Animal Nutrition*, 2007, 61(5): 319-335 (doi: 10.1080/17450390701556817).
82. Stanley D., Hughes R.J., Moore R.J. Microbiota of the chicken gastrointestinal tract: influence on health, productivity and disease. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2014, 98(10): 4301-4310 (doi: 10.1007/s00253-014-5646-2).
83. Brisbin J.T., Gong J., Sharif S. Interactions between commensal bacteria and the gut-associated immune system of the chicken. *Animal Health Research Reviews*, 2008, 9(1): 101-110 (doi: 10.1017/S146625230800145X).
84. Yegani M., Korver D.R. Factors affecting intestinal health in poultry. *Poultry Science*, 2008, 87(10): 2052-2063 (doi: 10.3382/ps.2008-00091).
85. Jankowski J., Juskiewicz J., Gulewicz K., Lecewicz A., Slominski B.A., Zdunczyk Z. The effect of diets containing soybean meal, soybean protein concentrate, and soybean protein isolate of different oligosaccharide content on growth performance and gut function of young turkeys. *Poultry Science*, 2009, 88(10): 2132-2140 (doi: 10.3382/ps.2009-00066).
86. Oakley B.B., Kogut M.H. Spatial and temporal changes in the broiler chicken cecal and fecal microbiomes and correlations of bacterial taxa with cytokine gene expression. *Frontiers in Veterinary Science*, 2016, 3: 11 (doi: 10.3389/fvets.2016.00011).
87. Yan W., Sun C., Yuan J., Yang N. Gut metagenomic analysis reveals prominent roles of Lactobacillus and cecal microbiota in chicken feed efficiency. *Scientific Reports*, 2017, 7: 45308 (doi: 10.1038/srep45308).
88. Fujimura K.E., Slusher N.A., Cabana M.D., Lynch S.V. Role of the gut microbiota in defining human health. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 2010, 8(4): 435-454 (doi: 10.1586/eri.10.14).
89. Hussain M., Bonilla-Rosso G., Chung C.K., Bäriswyl L., Rodriguez M.P., Kim B.S., Engel P., Noti M. High dietary fat intake induces a microbiota signature that promotes food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2019, 144(1): 157-170 (doi: 10.1016/j.jaci.2019.01.043)
90. Wu G., Niu M., Tang W., Hu J., Wei G., He Z., Chen Y., Jiang Y., Chen P. L-Fucose ameliorates high-fat diet-induced obesity and hepatic steatosis in mice. *Journal of Translational Medicine*, 2018, 16: 344 (doi: 10.1186/s12967-018-1718-x).
91. Duan M., Sun X., Ma N., Liu Y., Luo T., Song S., Ai C. Polysaccharides from Laminaria japonica alleviated metabolic syndrome in BALB/c mice by normalizing the gut microbiota. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 121: 996-1004 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.10.087).
92. Фисинин В.И., Ильина Л.А., Йылдырым Е.А., Никонов И.Н., Филиппова В.А., Лаптев Г.Ю., Новикова Н.И., Грозина А.А., Ленкова Т.Н., Манукян В.А., Егоров И.А. Бактериальное сообщество слепых отростков кишечника цыплят-бройлеров на фоне питательных рационов различной структуры. *Микробиология*, 2016, 85(4): 472-480 (doi: 10.7868/S0026365616040054).
93. Feng W., Wang H., Zhang P., Gao C., Tao J., Ge Z., Zhu D., Bi Y. Modulation of gut microbiota contributes to curcumin-mediated attenuation of hepatic steatosis in rats. *Biochimica et Biophysica Acta — General Subjects*, 2017, 1861(7): 1801-1812 (doi: 10.1016/j.bbagen.2017.03.017).
94. Wang C.-C., Yen J.-H., Cheng Y.-C., Lin C.-Y., Hsieh C.-T., Gau R.-J., Chiou S.-J., Chang H.-Y. *Polygala tenuifolia* extract inhibits lipid accumulation in 3T3-L1 adipocytes and high-fat diet-induced obese mouse model and affects hepatic transcriptome and gut microbiota profiles. *Food and Nutrition Research*, 2017, 61: 1379861 (doi: 10.1080/16546628.2017.1379861).
95. Gómez-Zorita S., Aguirre L., Milton-Laskibar I., Fernández-Quintela A., Trepiana J., Kajarabille N., Mosqueda-Solís A., González M., Portillo M.P. Relationship between changes in microbiota and liver steatosis induced by high-fat feeding-a. Review of rodent models. *Nutrients*, 2019, 11(9): 2156 (doi: 10.3390/nu11092156).
96. Porras D., Nistal E., Martínez-Flórez S., Pisonero-Vaquero S., Olcoz J.L., Jover R., González-Gallego J., García-Mediavilla M.V., Sánchez-Campos S. Protective effect of quercetin on high-fat diet-induced non-alcoholic fatty liver disease in mice is mediated by modulating intestinal microbiota imbalance and related gut-liver axis activation. *Free Radical Biology and Medicine*, 2017, 102: 188-202 (doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2016.11.037).
97. Murphy E.A., Velazquez K.T., Herbert K.M. Influence of high-fat-diet on gut microbiota: a driving force for chronic disease risk. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2015, 18(5): 515-520 (doi: 10.1097/MCO.0000000000000209).
98. Diaz Carrasco J.M., Casanova N.A., Fernández Miyakawa M.E. Microbiota, gut health and chicken productivity: what is the connection. *Microorganisms*, 2019, 7(10): 374 (doi: 10.3390/microorganisms7100374).
99. Мирошников С.А., Гречушкин А.И., Миошников А.М., Лебедев С.В. Эффективность «защищенного» жира в рационах животных. *Вестник Оренбургского государственного университета,* 2005, 2(40): 47-49.
100. Лютых О. Защищенные жиры и биоэмульгаторы путь к высокопродуктивному поголовью. *Эффективное животноводство*, 2020, 5(162): 72-79.

101. Balevi T., Coskun B. Aktümsek A. Use of oil industry by-products in broiler diets. *Revue De Medecine Veterinarie,* 2001, 152: 805-810.
102. Borsatti L., Vieira S.L., Stefanello C., Kindlein L., Oviedo-Rondón E.O., Angel C.R. Apparent metabolizable energy of by-products from the soybean oil industry for broilers: acidulated soapstock, glycerin, lecithin, and their mixture. *Poultry Science*, 2018, 97(1): 124-130 (doi: 10.3382/ps/pex269).
103. Alvarenga R.R., Lima E.M.C., Zangeronimo M.G., Rodrigues P.B., Bernardino V.M.P. Use of glycerine in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*, 2012, 68(4): 637-644 (doi: 10.1017/S0043933912000773).
104. Cerrate S., Cerrate S., Yan F., Wang Z., Coto C., Sacakli P., Waldroup P.W. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. *International Journal of Poultry Science*, 2006, 5(11): 1001-1007 (doi: 10.3923/ijps.2006.1001.1007).
105. Dozier W.A., Kerr B.J., Corzo A., Kidd M.T., Weber T.E., Bregendahl K. Apparent metabolizable energy of glycerin for broiler chickens. *Poultry Science*, 2008, 87(2): 317-22 (doi: 10.3382/ps.2007-00309).
106. Hu X.Q., Wang W.B., Liu L., Wang C., Feng W., Luo Q.P., Han R., Wang X.D. Effects of fat type and emulsifier in feed on growth performance, slaughter traits, and lipid metabolism of Cherry Valley ducks. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 5759-5766 (doi: 10.3382/ps/pez369).
107. An J.S., Yun W., Lee J.H., Oh H.J., Kim T.H., Cho E.A., Kim G.M., Kim K.H., Lee S.D., Cho J.H. Effects of exogenous emulsifier supplementation on growth performance, energy digestibility, and meat quality in broilers. *Journal of Animal Science and Technology*, 2020, 62(1): 43-51 (doi: 10.5187/jast.2020.62.1.43).
108. Rovers M., Excentials O. Saving energy and feed cost with nutritional emulsifier. *International Poultry Production*, 2014, 22(4): 7-8.
109. Jansen M., Nuyens F., Buyse J., Leleu S., Van Campenhout L. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds. *Poultry Science*, 2015, 94(10): 2506-2515 (doi: 10.3382/ps/pev181).
110. Boontiam W., Jung B., Kim Y.Y. Effects of lysophospholipid supplementation to lower nutrient diets on growth performance, intestinal morphology, and blood metabolites in broiler chickens. *Poultry Science*, 2017, 96(3): 593-601 (doi: 10.3382/ps/pew269).
111. Zhao P.Y., Kim I.H. Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers. *Poultry Science*, 2017, 96(5): 1341-1347 (doi: 10.3382/ps/pew469).
112. Bontempo V., Comi M., Jiang X.R., Rebucci R., Caprarulo V., Giromini C., Gottardo D., Fusi E., Stella S., Tirloni E., Cattaneo D., Baldi A. Evaluation of a synthetic emulsifier product supplementation on broiler chicks. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 240: 157-164 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.04.010).
113. Hasenhuettl G.L. Synthesis and commercial preparation of food emulsifiers. In: *Food emulsifiers and their applications* /G. Hasenhuettl, R. Hartel (eds.). Springer, Cham, 2019: 11-39 (doi: 10.1007/978-3-030-29187-7_2).
114. Подобед Л.И. Эмульгаторы жиров в рационе — это сегодня актуально. *Наше сельское хозяйство*, 2018, 20: 29-33.
115. Околелова Т., Мансуров Н., Сафонов А. Эмульгатор для птицеводства. *Комбикорма*, 2015, 10: 71-72.
116. Tancharoenrat P., Ravindran V., Zaefarian F., Ravindran G. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 2013, 186(3-4): 186-192 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2013.10.013).
117. Huang J., Yang D., Wang T. Effects of replacing soy-oil with soy-lecithin on growth performance, nutrient utilisation and serum parameters of broilers fed corn-based diets. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences*, 2007, 20: 1880-1886 (doi: 10.5713/ajas.2007.1880).
118. Guerreiro Neto A.C., Pezzato A.C., Sartori J.R., Mori C., Cruz V., Faschina V., Pinheiro D.F., Madeira L.A., Goncalvez J.C. Emulsifier in broiler diets containing different fat sources. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 2011, 13(2): 119-125 (doi: 10.1590/S1516-635X2011000200006).
119. Zhang B., Haitao L., Zhao D., Guo Y., Barri A. Effect of fat type and lysophosphatidylcholine addition to broiler diets on performance, apparent digestibility of fatty acids, and apparent metabolizable energy content. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 163(2-4): 177-184 (doi: 10.1016/j.anifeedsci.2010.10.004).
120. Gheisar M.M., Hosseindoust A., Kim H.B., Kim I.H. Effects of lysolecithin and sodium stearoyl-2-lactylate on growth performance and nutrient digestibility in broilers. *Korean Journal of Poultry Science*, 2015, 42(2): 133-137 (doi: 10.5536/KJPS.2015.42.2.133).
121. Upadhaya S.D., Lee J.S., Jung K.J., Kim I.H. Influence of emulsifier blends having different hydrophilic-lipophilic balance value on growth performance, nutrient digestibility, serum lipid profiles, and meat quality of broilers. *Poultry Science*, 2018, 97(1): 255-261 (doi: 10.3382/ps/pex303).

122. Soares M., Lopez-Bote C.J. Effect of dietary lecithin and fat unsaturation on nutrient utilisation in weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*, 2002, 95: 169-177 (doi: 10.1016/S0377-8401(01)00324-8).
123. Boesjes M., Brufau G. Metabolic effects of bile acids in the gut in health and disease. *Current Medicinal Chemistry*, 2014, 21(24): 2822-2829 (doi: 10.2174/0929867321666140303142053).
124. Xu Y. Recent progress on bile acid receptor modulators for treatment of metabolic diseases. *Journal of Medicinal Chemistry*, 2016, 59(14): 6553-6579 (doi: 10.1021/acs.jmedchem.5b00342).
125. Ge X.K., Wang A.A., Ying Z.X., Zhang L.G., Su W.P., Cheng K., Feng C.C., Zhou Y.M., Zhang L.L., Wang T. Effects of diets with different energy and bile acids levels on growth performance and lipid metabolism in broilers. *Poultry Science*, 2019, 98(2): 887-895 (doi: 10.3382/ps/pey434).
126. Abousaad S., Lassiter K., Piekarski A., Chary P., Striplin K., Christensen K., Bielke L.R., Hargis B.M., Dridi S., Bottje W.G. Effects of In Ovo feeding of dextrin-iodinated casein in broilers: I. Hatch weights and early growth performance. *Poultry Science*, 2017, 96(5): 1473-1477 (doi: 10.3382/ps/pew438).
127. Rychen G., Aquilina G., Azimonti G., Bampidis V., Bastos M.L., Bories G., Chesson A., Cocconcelli P.S., Flachowsky G., Kolar B., Kouba M., López-Alonso M., López Puente S., Mantovani A., Mayo B., Ramos F., Saarela M., Villa R.E., Wallace R.J., Wester P., Lundebye A.K., Nebbia C., Renshaw D., Innocenti M.L., Gropp J. Modification of the terms of authorisation of lecithins as a feed additive for all animal species. *EFSA Journal*, 2018, 16(6): e05334 (doi: 10.2903/j.efsa.2018.5334).
128. Bavaresco C., Silva S.N., Dias R.C., Lopes D.C., Xavier E.G., Roll V.F. Performance, metabolic efficiency and egg quality in Japanese quails fed with acidulated soybean soapstock and lecithin for a prolonged period. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2020, 92(suppl. 1): e20180620 (doi: 10.1590/0001-3765202020180620).
129. Околелова Т.М., Енгашев С.В. Роль экзогенных эмульгаторов в повышении эффективности использования липидов корма. *Ветеринария и кормление*, 2020, 5: 29-33 (doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-5-9).
130. Serpunja S., Kim I.H. The effect of sodium stearoyl-2-lactylate (80%) and tween 20 (20%) supplementation in low-energy density diets on growth performance, nutrient digestibility, meat quality, relative organ weight, serum lipid profiles, and excreta microbiota in broilers. *Poultry Science*, 2018, 98(1): 269-275 (doi: 10.3382/ps/pey342).
131. Zampiga M., Meluzzi A., Sirri F. Effect of dietary supplementation of lysophospholipids on productive performance, nutrient digestibility and carcass quality traits of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 2016, 15(3): 521-528 (doi: 10.1080/1828051X.2016.1192965).
132. Roy A., Haldar S., Mondal S., Ghosh T.K. Effects of supplemental exogenous emulsifier on performance, nutrient metabolism, and serum lipid profile in broiler chickens. *Veterinary Medicine International*, 2010: 262604 (doi: 10.4061/2010/262604).
133. Upadhaya S.D., Park J.W., Park J.H., Kim I.H. Efficacy of 1,3-diacylglycerol as a fat emulsifier in low-density diet for broilers. *Poultry Science*, 2017, 96(6): 1672-1678 (doi: 10.3382/ps/pew425).
134. Siyal F.A., Abd El-Hack M.E., Alagawany M., Wang C., Wan X., He J.T., Wang M.F., Zhang L.L., Zhong X., Wang T., Kuldeep D. Effect of soy lecithin on growth performance, nutrient digestibility and hepatic antioxidant parameters of broiler chickens. *International Journal of Pharmacology*, 2017, 13(4): 396-402 (doi: 10.3923/ijp.2017.396.402).

ФГБНУ ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН,
460000 Россия, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29,
e-mail: sizova.l78@yandex.ru ✉, reger94@bk.ru

Поступила в редакцию 15 февраля 2022 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2022, V. 57, № 4, pp. 664-680

FATS AND EMULSIFIERS IN FEEDING BROILER CHICKENS (review)

E.A. Sizova✉*, K.V. Ryazantseva*

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS, 29, ul. 9 Yanvarya, Orenburg, 460000 Russia, e-mail sizova.l78@yandex.ru (✉ corresponding author), reger94@bk.ru
ORCID:
Sizova E.A. orcid.org/0000-0002-5125-5981 Ryazantseva K.V. orcid.org/0000-0001-5134-0396
The authors declare no conflict of interests
Acknowledgements:
The studies were carried out in accordance with the research plan for 2021-2023 of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies RAS (No. 0761-2019-0005).
Received February 15, 2022 doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.664eng

Abstract

The increase in feed prices determines the need to optimize the rationing of high-energy ingredients of the diet, as well as various approaches to improving the efficiency of their use in the digestive process. In industrial poultry farming, fats, having a high energy value, serve as indispensable components of the diet (V.I. Fisinin et al., 2000; V.I. Fisinin et al., 2011). They provide high productivity and economic efficiency (N.C. Baião et al., 2005; M. Nayebpor et al., 2007; H. Fébel et al., 2008), play an important role in the regulation of metabolism, deposit energy, performing a protective function, serve as solvents and carriers of vitamins, hormones, as well as an obligatory component of nervous tissue (A.V. Arkhipov, 2010; M. Poorghasemi et al., 2013; R. Rodriguez-Sanchez et al., 2019). A wide variety of fats and oils and by-products of processing are available for use in diets, for example, animal fats and vegetable oils (soy, corn, sunflower, palm, hemp, mustard, etc.), sunflower fusel (a by-product of the conversion of sunflower seeds into vegetable oil), acidified soapstocks (by-products refining of vegetable oil, mainly containing free fatty acids), hydrogenated fats (A.V. Arkhipov, 2007; V.A. Manukyan et al., 2018; L.N. Skvortsova et al., 2013). The choice of fat for use in feeding farm animals and poultry is largely determined by both its cost and quality characteristics. The main factor that affects the release of energy from fat entering the body with food is its digestibility (V. Ravindran et al., 2016; R. Rodriguez-Sanchez et al., 2019; B. Jimenez-Moya et al., 2021). The digestion of fats is a complex process that requires a sufficient amount of bile acid salts and enzymes (S. Leeson et al., 2009). In addition, the correction of the diet with lipids is effective, but economically impractical. The increase in prices for animal and vegetable fats currently encourages interest in the search and use of alternative energy sources in the feed of farm animals or substances that enhance the processes of digestion and assimilation of lipids, in order to reduce the cost of production (S.A. Miroshnikov et al., 2005; O. Lyutykh, 2020). One of the approaches to increase the amount of available fats can be the use of synthetic and natural emulsifiers. Popular emulsifiers usually consist of hydrophilic and hydrophobic components that can reduce the surface tension of fat and water, reduce chylomicrons of fat, improve emulsification and increase fat absorption, make up for the deficiency of bile acid and lipase in the digestive tract of poultry (M. Rovers et al., 2014; M. Jansen et al., 2015). Natural emulsifiers include bile acids and salts, including cholic and henodeoxycholic, taurocholate, lecithin, casei, phosphatide concentrates, some of which can be produced in the animal's body (M. Soares et al., 2002). Bile acid salts reduce the tension of the oil-water interface, activate pancreatic lipase, and also prevent the denaturation of this enzyme when it throws the surface of emulsified fat droplets (M. Boesjes et al., 2014; Y. Xu, 2016; X.K. Ge et al., 2019). Synthetic emulsifiers (lysolecitin, lysophosphatidylcholine, mono- and polyoxyethylene glycol dioleates) improve liver and bile duct function, accelerate weight gain and improve feed conversion, increase growth rates and nutrient digestibility (B. Zhang et al., 2011; M.M. Gheisar et al., 2015; S.D. Upadhaya et al., 2018). Consequently, the strategy of using emulsifiers and enzymes can be an effective tool for improving the digestion of fats both in young birds with functional immaturity of the digestive system and in adults to further reduce feed losses due to the intensification of the digestive process. The use of this approach will provide increased digestibility and digestibility of nutrients while reducing the introduction of vegetable and animal fats into the diet of broiler chickens.

Keywords: chicken broilers, feeding, diet, fats, oils, lipids, emulsifiers, digestion, microbiome.