

**ПРОДУКТИВНОСТЬ, МЕТАБОЛИТЫ ЛИПИДНОГО ОБМЕНА
СЫВОРОТКИ КРОВИ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕЧЕНИ ЦЫПЛЯТ–БРОЙЛЕРОВ
ПРИ СКАРМЛИВАНИИ ЭМУЛЬГАТОРОВ***

Кристина Владимировна Рязанцева, младший научный сотрудник

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук

Ксения Сергеевна Нечитайло, научный сотрудник

*Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук,
г. Оренбург, Россия*

E-mail: reger94@bk.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований влияния скормливания цыплятам-бройлерам веществ с эмульгирующими свойствами (соевый лецитин, кормовая добавка Лесимакс Премиум) на продуктивность, метаболиты липидного обмена сыворотки крови и химический состав печени. Эмульгаторы применяют в кормлении животных для лучшего эмульгирования жиров и увеличения абсорбции. Печень — центральный орган, контролирующий гомеостаз липидов посредством сложных, но точно регулируемых биохимических, сигнальных и клеточных путей. В работе показана лучшая результативность Лесимакс Премиум по сравнению с соевым лецитином. К концу эксперимента лидерство по живой массе цыплят-бройлеров по сравнению с контролем составила 7,9%. В эксперименте оба эмульгатора изменяли жирно-кислотный состав печени, при этом повышалась олеиновая кислота и снижалась линолевая, возрастали липопротеины высокой плотности и уменьшались липопротеины низкой плотности сыворотки крови. Использование эмульгаторов в рационах улучшает продуктивность бройлеров.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, эмульгаторы, печень, кровь, элементы

**PRODUCTIVITY, METABOLITES OF BLOOD SERUM LIPID METABOLISM
AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE BROILER CHICKEN LIVER
ON THE BACKGROUND OF FEEDING EMULSIFIERS**

K.V. Ryazantseva, Junior Researcher

E.A. Sizova, Grand PhD in Biological Sciences

K.S. Nechitaylo, Researcher

*Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences,
Orenburg, Russia*

E-mail: reger94@bk.ru

Abstract. Emulsifiers are used in animal nutrition to improve fat emulsification and increase absorption. The liver is the central organ controlling lipid homeostasis. The aim of the research was identification the effect of feeding various types of substances with emulsifying properties: soy lecithin and Lesimaks Premium feed additive on productivity, metabolites of lipid metabolism in blood serum and the chemical composition of the liver of broiler chickens. Our studies show the effectiveness of “Lesimaks Premium” to a greater extent in a comparison with soy lecithin. By the end of the experiment, the lead in live weight of broiler chickens compared to the control was 7.9%. In the experiment, both emulsifiers changed the fatty acid composition of the liver, while oleic acid increased and linoleic acid decreased in the liver, against the background of an increase in HDL and a decrease in serum LDL. The study highlights the promising potential for improving broiler performance through the use of emulsifiers in diets.

Keywords: broiler chickens, emulsifiers, liver, blood, elements

Высокая продуктивность сельскохозяйственной птицы зависит от калорийности рациона. Но высокоэнергетические корма отрицательно влияют на интенсивность работы печени, ее морфофункциональные особенности и могут провоцировать дистрофические изменения. [1] Птица обладает способностью запасать большое количество избыточной энергии в виде триглицеридов в печени и жировой ткани. Печень регулирует липидный обмен и секрецию желчи. [3]

Липиды относятся к основным компонентам липопротеидов. Липогенез происходит в печени птиц

и включает в себя ряд связанных ферментативных катализируемых реакций, в том числе гликолиз и синтез жирных кислот. Большая часть эндогенных липидов организма имеет печеночное происхождение, а развитие жировой ткани зависит от наличия триглицеридов плазмы, которые гидролизуются адипоцитами. Метаболизм жирных кислот в печени четко регулируется и чувствителен к корректировке питания. [4]

Жирные кислоты образуются в результате ферментативного расщепления липидов, но в водной среде желудочно-кишечного тракта птицы нерас-

* Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021–2023 г. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761–2019–0005)/ The research was carried out in accordance with the research plan for 2021–2023 of the Federal State Budgetary Research Center of the BST RAS (No. 0761-2019-0005).

творимые жирные кислоты плохо усваиваются. Этому процессу способствуют желчные кислоты, выступающие в роли природных эмульгаторов. В раннем возрасте выработка желчных кислот и липазы недостаточна для полного переваривания пищевых жиров, поскольку желудочно-кишечный тракт недостаточно зрелый. [2]

Существует необходимость в дополнительном введении эмульгатора для улучшения переваривания жира и получения хорошей конверсии высокоэнергетических комбикормов.

Цель работы – определить влияние кормовых добавок с эмульгирующими свойствами (соевый лецитин, Лесимакс Премиум) на продуктивность, метаболизм липидов и химический состав печени цыплят-бройлеров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные исследования проводили с 2021 по 2022 год на базе вивария ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. Методом пар – аналогов из семисуточных цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres сформировали три группы – контрольную и две опытных (n = 90). Кормление осуществляли рационом, сформированным согласно рекомендациям ВНИТИП (2019). В рацион цыплят-бройлеров I опытной группы добавляли 0,1% эмульгатора Лесимакс Премиум, II – совместно с комбикормом скармливали соевый лецитин в дозе 0,1%. Длительность эксперимента – 35 сут. (возраст – 7...42 сут.).

Концентрацию химических элементов (Cu, Cr, Fe, Zn, Se, Na, Mg, R, Ca) в печени определяли при помощи масс-спектрометрии Elan DRC-e 9000 (Perkin Elmer, USA). Биохимическое исследование крови проводили, используя автоматический биохимический анализатор CS-T240 Dirui Industrial Co. Ltd и коммерческие наборы для ветеринарии Диа-ВетТест. Жирно-кислотный состав печени (C_{16:0} – пальмитиновая, C_{16:1} – пальмитолеиновая, C_{18:0} – стеариновая, C_{18:1} – олеиновая, C_{18:2} – линолевая, C_{18:3} – линоленовая) анализировали на хроматографе Хроматэк-Кристалл 5000. Были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества опытных образцов. Исследования одобрены комиссией по биоэтике ФНЦ БСТ РАН, протокол № 1 от 23 марта 2021 года и выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов, протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009).

Для статистического анализа использовали программы Microsoft Excel и Statistica 10.0. Различия считали значимыми при p ≤ 0,05 (t-критерий Стьюдента).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На 21 сут. в I опытной группе наблюдали максимальный прирост на 5,3%, во II – снижение на 5%, относительно контроля. К концу экспериментального периода (42 сут.) тенденция лидерства по живой массе цыплят-бройлеров сохраняется у I опытной группы, разница с контролем – 7,9% (рис. 1).

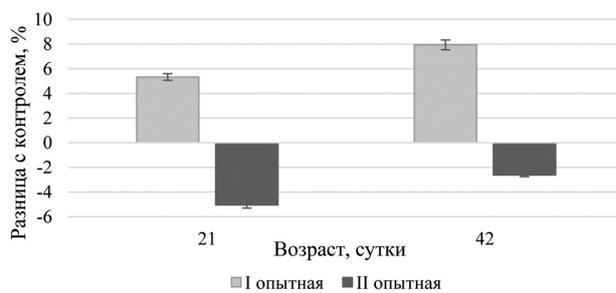


Рис. 1. Динамика живой массы цыплят опытных групп относительно контроля, %.

Соевый лецитин представляет собой смесь различных фосфолипидов, включая фосфатидилхолин, фосфатидилинозитол, фосфатидилэтаноламин и другие. Активные ингредиенты, содержащиеся в соевом лецитине, играют важную роль в поддержании целостности и функций клеточных мембран. При скармливании цыплятам-бройлерам рациона с включением кормовой добавки Лесимакс Премиум в I опытной группе наблюдали повышение массы печени на 9,4%, II – снижение на 11,7% (p ≤ 0,05), относительно контрольных значений (см. таблицу). Возможно, это связано с уменьшением общей массы тела цыплят-бройлеров по сравнению с контрольной. Есть данные и об отсутствии влияния эмульгатора в рационе цыплят-бройлеров на массу печени. [10]

Чрезмерное потребление высококалорийного рациона в сочетании с ограничением физической активности приводит к синдрому жировой дистрофии печени. [11] Возможно, высокая активность метаболизма липидов на фоне использования эмульгатора индуцирует пролиферативную активность гепатоцитов и замедляет рост массы органа. Печень не только основное место липогенеза у птиц, но и центр превращения холестерина в желчные соли, которые реабсорбируются в энтерогапатической системе. Кроме того, печень участвует в клиренсе остатков портомикрона. Жирные кислоты транспортируются в жировую и мышечную ткани через капилляры, а остатки портомикронов, которые в основном состоят из холестерина и белков, направляются в печень для опосредованного эндоцитоза. [9]

Метаболизируясь, лецитин высвобождает в кровь фосфатидилхолин, действующий как субстрат для превращения холестерина в эфир холестерина. Лецитин обладает хорошими гидрофильными, липофильными и эмульгирующими свойствами, способностью разбивать частицы холестерина, которые легко поглощаются тканями через стенки кровеносных сосудов, что снижает уровень липидов в крови. [6]

Биохимический анализ сыворотки крови цыплят-бройлеров I группы показал, что содержание

Масса печени цыплят-бройлеров в возрасте 42 суток, г

Группа	Контрольная	I	II
Масса печени, г	53,33±0,61	58,34±8,56	47,06±0,80*

Примечание. * p<0,05 при сравнении контрольной и опытных групп.

холестерина, липопротеинов высокой (ЛПВП) и низкой (ЛПНП) плотности находилось на уровне контрольных значений, триглицеридов (Тг) — снизилось на 13,9%. Во II группе концентрация холестерина была выше контрольных значений на 11,6%, ЛПНП — ниже на 6,8%. Возможно, подобный результат получен вследствие способности соевого лецитина стимулировать секрецию желчных кислот, увеличивая содержание жира в крови. [7]

Снижение концентрации холестерина и триглицеридов в сыворотке цыплят-бройлеров может быть связано с быстрым образованием хиломикрон из крови. [12] Также триглицериды могут гидролизироваться липопротеинлипазой при активации аполипопротеином С-II, приводя к образованию двух свободных жирных кислот, которые затем абсорбируются. Гипотеза была подтверждена повышением уровня липопротеинлипазы при использовании эмульгатора в рационе бройлеров. [5]

Дальнейшие исследования механизма воздействия эмульгаторов на метаболиты крови должны устранить несоответствия, связанные с высоким уровнем холестерина на фоне скармливания эмульгаторов.

Биохимические показатели крови тесно связаны с липидным обменом. Жир, синтезируемый в печени, связывается с аполипопротеином или холестерином с образованием ЛПНП, которые транспортируются через кровь в другие ткани для хранения или использования. [3] ЛПВП и ЛПНП представляют собой два основных класса липопротеиновых частиц, которые синтезируются и секретируются печенью. В нашем исследовании значительные концентрации ЛПВП были у цыплят-бройлеров I группы с наибольшей массой тела, что позволяет предположить наличие эффективного переноса холестерина через кровь и транспорт его в печень. [8]

Печень первая получает и метаболизирует жирные кислоты после переваривания и всасывания липидов. [13] На состав жирных кислот тканей может влиять рацион кормления, а также особенности пищеварительной системы и биосинтетические процессы.

При оценке жирно-кислотного состава печени цыплят-бройлеров I и II опытных групп важно отметить повышение олеиновой кислоты на 11,9 и 15,1% ($p \leq 0,05$) относительно контроля и значительное снижение линолевой кислоты на 19 и 16,5%, по отношению к контрольным показателям соответственно (рис. 2).

Снижение во II группе пальмитиновой кислоты на 0,5%, стеариновой — 10, линолевой — 16,5, арахидоновой — 6,4% возможно связано с подавлением лецитином абсорбции свободных жирных кислот в тонкой кишке из-за увеличения размера мицелл солей желчных кислот, которые медленнее диффундировали. [14] Другая возможная причина заключается в том, что сохранение мицелл солей лецитина и желчных кислот на абсорбирующей клеточной поверхности может изменить распределение свободных жирных кислот. Их абсорбция снижается, если они предпочитают водную среду смешанных мицелл, а не липидную мембрану абсорбирующей клеточной поверхности. [12]

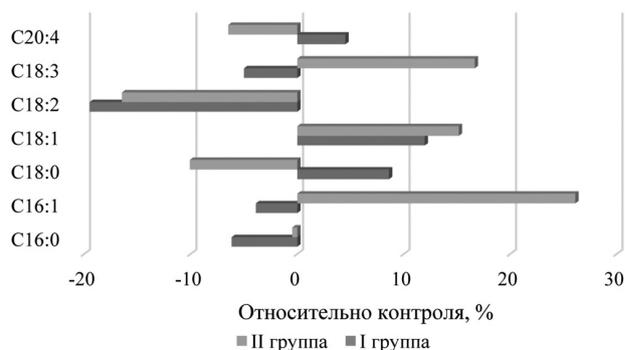


Рис. 2. Жирно-кислотный состав печени опытных цыплят-бройлеров в возрасте 42 сут., %.

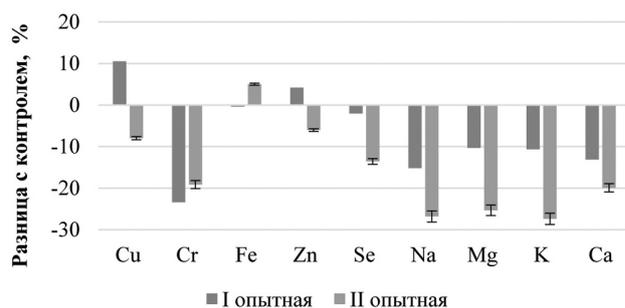


Рис. 3. Элементный состав печени цыплят-бройлеров в возрасте 42 сут.

Анализ содержания химических элементов в печени выявил, что при скармливании II опытной группе соевого лецитина в дозе 0,1%, содержание Na, Mg и K уменьшается в среднем на 26% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольными значениями. В I группе повышается концентрация Cu и Zn на 10,5 и 4,1% относительно контроля соответственно (рис. 3).

Применение эмульгатора в кормлении может улучшать усвоение кальция и фосфора. [15] Эксперимент не выявил значительного влияния дополнительного эмульгатора на метаболизм микроэлементов.

Выводы. Таким образом, включение в рацион эмульгаторов эффективно увеличивает продуктивность и активизирует липидный обмен. Но необходимо предметно подходить к выбору эмульгатора. В наших исследованиях показана лучшая результативность Лесимакс Премиум. К концу эксперимента лидерство по живой массе цыплят-бройлеров составило 7,9% по сравнению с контролем. Оба эмульгатора изменяли жирно-кислотный состав печени — содержание олеиновой кислоты повышалось, линолевой снижалось на фоне возрастания ЛПВП и уменьшения ЛПНП сыворотки крови. Использование эмульгаторов в рационах улучшает продуктивность бройлеров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Егоров И.А., Андрианова Е.Н., Присяжная Л.М. Использование комбикормов с люпином, обогащенных ферментами, для цыплят-бройлеров // В материалах X Украинской конференции по птицеводству с международным участием. Алушта, 2009. С. 53–56.
- Сизова Е.А., Рязанцева К.В. Жиры и эмульгаторы в кормлении цыплят-бройлеров (обзор) // Сельскохо-

- зайственная биология. 2022. Т. 57. № 4. С. 664–680. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.664rus.
3. Alves-Bezerra M., Cohen D.E. Triglyceride metabolism in the liver // *Comprehensive Physiology*. 2017. Vol. 8. No. 1. PP. 1–8. DOI:10.1002/cphy.c170012.
 4. Gu T., Duan M., Liu J. et al. Effects of Tributyrin Supplementation on Liver Fat Deposition, Lipid Levels and Lipid Metabolism-Related Gene Expression in Broiler Chickens // *Genes*. 2022. Vol. 13. No. 12. PP. 2219. DOI: 10.3390/genes13122219.
 5. Lai W., Huang W., Dong B. et al. Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens // *Poultry Science*. 2018. Vol. 97. No. 1. PP. 196–202. DOI: 10.3382/ps/pex288.
 6. Li X.J., Ma Y.Y., Wang H.X. et al. Regulatory Effect of Soybean Lecithin on Serum Lipids in Rats // *Chin. J. Microecology*. 2015. Vol. 27. No. 8. PP. 878–880. DOI: 10.13381/j.cnki.cjm.201508003.
 7. Liu X., Yoon S.B., Kim I.H. Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Profiles, Excreta Microbial Counts, Meat Quality and Organ Weight on Broilers Fed with Deoiled Lecithin Emulsifier // *Animals*. 2020. Vol. 10. No. 3. PP. 478. DOI: 10.3390/ani10030478.
 8. Manthei K.A., Yang S.M., Baljinnam B. et al. Molecular basis for activation of lecithin: cholesterol acyltransferase by a compound that increases HDL cholesterol // *Elife*. 2018. Vol. 7. DOI: 10.7554/eLife.41604.
 9. Oketch E.O., Lee J.W., Yu M. et al. Physiological responses of broiler chickens fed reduced-energy diets supplemented with emulsifiers // *Animal Bioscience*. 2022. Vol. 35. No. 12. PP. 1929–1939. DOI: 10.5713/ab.22.0142.
 10. Pantaya D., Widayanti A., Jadmiko P., Utami M.M.D. Effect of bile acid supplementation in broiler feed on performance, carcass, cholesterol, triglycerides and blood glucose // *Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 411. PP. 1–7. DOI: 10.1088/1755-1315/411/1/012041.
 11. Qureshi I.A., Khan S.A., Chaudhry Z.I. et al. Effects of high dietary fat on serum cholesterol and fatty liver syndrome in broilers // *Pakistan Veterinary Journal*. 2004. Vol. 24. No. 3. PP. 153–154.
 12. 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. DOI: 10.4061/2010/262604.
 13. Van L.H., Nguyen D.V., Vu N.Q. et al. Fatty acid profiles of muscle, liver, heart and kidney of Australian prime lambs fed different polyunsaturated fatty acids enriched pellets in a feedlot system // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. No. 1. PP. 1238. DOI: 10.1038/s41598-018-37956-y.
 14. Woods V.B., Fearon A.M. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review // *Livestock Science*. 2009. Vol. 126. PP. 1–20. DOI: 10.1016/j.livsci.2009.07.002.
 15. Zaefarian F., Abdollahi M.R., Cowieson A., Ravindran V. Avian liver: the forgotten organ // *Animals*. 2019. Vol. 9. No. 2. PP. 63. DOI: 10.3390/ani9020063.
 - X Ukrainskoj konferencii po pticevodstvu s mezhdunarodnym uchastiem. Alushta, 2009. S. 53–56.
 2. Sizova E.A., Ryazanceva K.V. Zhiry i emul'gatory v kormlenii cyplyat-brojlerov (obzor) // *Sel'skokozyajstvennaya biologiya*. 2022. Т. 57. № 4. С. 664–680. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.4.664rus.
 3. Alves-Bezerra M., Cohen D.E. Triglyceride metabolism in the liver // *Comprehensive Physiology*. 2017. Vol. 8. No. 1. PP. 1–8. DOI: 10.1002/cphy.c170012.
 4. Gu T., Duan M., Liu J. et al. Effects of Tributyrin Supplementation on Liver Fat Deposition, Lipid Levels and Lipid Metabolism-Related Gene Expression in Broiler Chickens // *Genes*. 2022. Vol. 13. No. 12. PP. 2219. DOI: 10.3390/genes13122219.
 5. Lai W., Huang W., Dong B. et al. Effects of dietary supplemental bile acids on performance, carcass characteristics, serum lipid metabolites and intestinal enzyme activities of broiler chickens // *Poultry Science*. 2018. Vol. 97. No. 1. PP. 196–202. DOI: 10.3382/ps/pex288.
 6. Li X.J., Ma Y.Y., Wang H.X. et al. Regulatory Effect of Soybean Lecithin on Serum Lipids in Rats // *Chin. J. Microecology*. 2015. Vol. 27. No. 8. PP. 878–880. DOI: 10.13381/j.cnki.cjm.201508003.
 7. Liu X., Yoon S.B., Kim I.H. Growth Performance, Nutrient Digestibility, Blood Profiles, Excreta Microbial Counts, Meat Quality and Organ Weight on Broilers Fed with Deoiled Lecithin Emulsifier // *Animals*. 2020. Vol. 10. No. 3. PP. 478. DOI: 10.3390/ani10030478.
 8. Manthei K.A., Yang S.M., Baljinnam B. et al. Molecular basis for activation of lecithin: cholesterol acyltransferase by a compound that increases HDL cholesterol // *Elife*. 2018. Vol. 7. DOI: 10.7554/eLife.41604.
 9. Oketch E.O., Lee J.W., Yu M. et al. Physiological responses of broiler chickens fed reduced-energy diets supplemented with emulsifiers // *Animal Bioscience*. 2022. Vol. 35. No. 12. PP. 1929–1939. DOI: 10.5713/ab.22.0142.
 10. Pantaya D., Widayanti A., Jadmiko P., Utami M.M.D. Effect of bile acid supplementation in broiler feed on performance, carcass, cholesterol, triglycerides and blood glucose // *Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 411. PP. 1–7. DOI: 10.1088/1755-1315/411/1/012041.
 11. Qureshi I.A., Khan S.A., Chaudhry Z.I. et al. Effects of high dietary fat on serum cholesterol and fatty liver syndrome in broilers // *Pakistan Veterinary Journal*. 2004. Vol. 24. No. 3. PP. 153–154.
 12. 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. DOI: 10.4061/2010/262604.
 13. Van L.H., Nguyen D.V., Vu N.Q. et al. Fatty acid profiles of muscle, liver, heart and kidney of Australian prime lambs fed different polyunsaturated fatty acids enriched pellets in a feedlot system // *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9. No. 1. PP. 1238. DOI: 10.1038/s41598-018-37956-y.
 14. Woods V.B., Fearon A.M. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review // *Livestock Science*. 2009. Vol. 126. PP. 1–20. DOI: 10.1016/j.livsci.2009.07.002.
 15. Zaefarian F., Abdollahi M.R., Cowieson A., Ravindran V. Avian liver: the forgotten organ // *Animals*. 2019. Vol. 9. No. 2. PP. 63. DOI: 10.3390/ani9020063.

REFERENCES

1. Egorov I.A., Andrianova E.N., Prisyazhnaya L.M. Ispol'zovanie kombikormov s lyupinom, obogashchennyh fermentami, dlya cyplyat-brojlerov // *V materialah*

Поступила в редакцию 29.03.2023
Принята к публикации 12.04.2023