

УДК 636.5:577.17

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-33-37

К.В. Рязанцева, ✉
Е.А. СизоваФедеральный научный центр
биологических систем
и агротехнологий РАН,
Оренбург, Россия

✉ sizova.178@yandex.ru

Поступила в редакцию:
27.09.2022Одобрена после рецензирования:
10.12.2022Принята к публикации:
14.04.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-370-5-33-37

Kristina V. Ryazantseva, ✉
Elena A. SizovaFederal Scientific Center of Federal
Scientific Center of Biological Systems
and Agrotechnologies of the Russian
Academy, Orenburg, Russia

✉ sizova.178@yandex.ru

Received by the editorial office:
27.09.2022Accepted in revised:
10.12.2022Accepted for publication:
14.04.2023

Влияние уровня липидов в рационе на степень усвоения минералов в организме цыплят-бройлеров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Скороспелые современные кроссы цыплят-бройлеров нуждаются в высокоэнергетическом рационе. Растительные масла, являясь концентрированным источником энергии, покрывают необходимую потребность в энергии. При этом количество и тип жира, используемого в рационе для повышения энергетической ценности, могут влиять на метаболизм микроэлементов. Таким образом, может существовать взаимосвязь между концентрацией и типом липидов в рационе и метаболизмом микроэлементов.

Цель исследования — оценка влияния различных доз подсолнечного масла в рационе на минералы в организме цыплят-бройлеров.

Методы. Экспериментальные исследования для оценки влияния высокоэнергетического рациона на минеральный статус организма проводились в трех группах цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres, сформированных методом пар-аналогов ($n = 35$). Основной рацион был скорректирован по обменной энергии. Предмет исследований — минеральный состав печени и костной ткани, а также биохимические и морфологические показатели крови.

Результаты. На основании исследований установлено, что скармливание цыплятам-бройлерам высокоэнергетического рациона вызывает изменения в метаболизме некоторых микроэлементов и приводит к нарушению их всасывания. В печени, сыворотке крови и костной ткани изучаемые элементы (Fe , Cu и Zn) в эксперименте снижались. Полученный результат требует дальнейших исследований и указывает на возможную необходимость коррекции минерального питания при высокоэнергетических рационах.

Ключевые слова: высокоэнергетические рационы, медь, цинк, железо, цыплята-бройлеры, печень, кровь, костная ткань

Для цитирования: Рязанцева К.В., Сизова Е.А. Влияние уровня липидов в рационе на степень усвоения минералов в организме цыплят-бройлеров. *Аграрная наука*. 2023; 370(5): 33–37, <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-33-37>

© Рязанцева К.В., Сизова Е.А.

Influence of lipid levels in the diet on the degree of absorption of minerals in the body of broiler chickens

ABSTRACT

Relevance. Precocious modern crosses of broiler chickens need a high-energy diet. Vegetable oils, being a concentrated source of energy, cover the necessary energy demand. At the same time, the amount and type of fat used in the diet to increase energy value can affect the metabolism of trace elements. Thus, there may be a relationship between the concentration and type of lipids in the diet and the metabolism of trace elements. The purpose of the study was to evaluate the effect of various doses of sunflower oil in the diet on minerals in the body of broiler chickens.

Methods. Experimental studies to assess the effect of a high-energy diet on the mineral status of the body were conducted in three groups of broiler chickens of the Arbor Acres cross, formed by the method of pairs of analogues ($n = 35$). The basic diet was adjusted for metabolic energy. The subject of research is the mineral composition of the liver and bone tissue, as well as biochemical and morphological parameters of blood.

Results. Based on research, it has been established that feeding broiler chickens is highly co-energy diet causes changes in the metabolism of certain trace elements and leads to malabsorption. In the liver, blood serum and bone tissue, the studied elements (Fe , Cu and Zn) decreased in the experiment. The result obtained requires further research and indicates on the possible need for correction of mineral nutrition in high-energy diets.

Key words: high energy diets, copper, zinc, iron, broiler chickens, liver, blood, bone tissue

For citation: Ryazantseva K.V. Sizova E.A. Influence of lipid levels in the diet on the degree of absorption of minerals in the body of broiler chickens. *Agrarian science*. 2023; 370(5): 33–37, <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-33-37> (In Russian).

© Ryazantseva K.V., Sizova E.A.

Введение/Introduction

Скороспелые современные кроссы цыплят-бройлеров нуждаются в высокоэнергетическом рационе. Раскормочные масла, являясь концентрированным источником энергии, покрывают необходимую потребность в энергии. При этом уровень жира в рационе модулирует переваривание и всасывание других нутриентов. Так, количество и тип жира, используемого в рационе для повышения питательной ценности, влияют на метаболизм микроэлементов [1]. Известно, что увеличение уровня пищевого жира в рационе птицы, а также доли насыщенных жиров повышает абсорбцию и использование *Fe* в организме. В свою очередь, другие элементы, такие как *Zn*, *Cu*, *Mg* и *Ca*, являясь антагонистами *Fe*, могут мешать его абсорбции [2].

Микроэлементы, такие как *Cu*, *Fe* и *Zn*, функционируют главным образом как катализаторы в ферментных системах внутри клеток или как коферментные факторы. Входят в состав сотен белков, участвующих в промежуточном метаболизме, путях секреции гормонов и системах иммунной защиты [2].

В России нормирование рационов цыплят-бройлеров по микроэлементам в соответствии с потребностью

основано на нормах кормления сельскохозяйственной птицы, установленных Всероссийским научно-исследовательским и технологическим институтом птицеводства (ВНИТИП). Норма гарантированных добавок в рацион цыплят-бройлеров составляет: *Fe* — 25 мг/кг, *Zn* — 70 мг/кг, *Cu* — 2,5 мг/кг [3].

Согласно ранее проведенным исследованиям, потребность цыплят-бройлеров в *Fe* составляла 97–136 мг/кг для поддержания полной экспрессии железосодержащих ферментов (сукцинатдегидрогеназы, каталазы и цитохромоксидазы) в печени и сердце цыплят-бройлеров [4]. При этом добавка *Cu* в рацион осуществляется в количествах, намного превышающих норму (от 125 до 250 мг/кг), с целью улучшения показателей роста, в качестве альтернативы антибиотическим стимуляторам роста [5]. Несомненно, различия в указанных цифрах определяются множеством факторов, в том числе кроссом, кормовой базой и т. д.

На биодоступность минералов влияют такие факторы, как их концентрация, химическая форма, общая структура рациона, а также кросс и возраст животного [6]. Микро- и макроэлементы в рацион цыплят-бройлеров вводят с премиксом: *Fe* обычно в виде солей и главным образом в виде сульфата; источниками *Zn*, используемыми в рационе домашней птицы, также являются сульфаты из-за высокой биодоступности [7]; в качестве источника *Cu* используют сульфат и гидроксихлорид [8].

При этом введение в рацион жира в сочетании с неорганическими минералами может привести к перекисному окислению липидов и изменению биодоступности элементов. Степень проявления подобных процессов напрямую зависит от дозы вводимого жира.

Таким образом, может существовать взаимосвязь между содержанием липидов в рационе и метаболизмом микроэлементов, целью данного эксперимента является оценка влияния высоких доз подсолнечного масла на концентрацию *Fe*, *Cu* и *Zn* в организме цыплят-бройлеров.

Материал и методы исследования/ Materials and method

Исследования проведены в 2022 году в условиях вивария на базе Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ФНЦ БСТ РАН) на цыплятах-бройлерах кросса Arbor Acres. Методом пар-аналогов сформированы три группы ($n = 35$): одна контрольная и две опытные. Возраст птицы на момент убоя — 42 суток.

Рацион сбалансирован согласно нормам ВНИТИП (2011)¹. Энергетическая ценность сбалансированного по нормам ВНИТИП (2011) рациона повышалась за счет добавления подсолнечного масла (табл. 1, 2). В рацион не использовалось нерафинированное подсолнечное масло в соответствии с ГОСТ Р 1129-2013².

Лабораторные исследования проведены на базе центра коллективного пользования биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (ЦКП ФНЦ БСТ РАН, г. Оренбург). Содержание *Zn*, *Fe* и *Cu* в кормах, костной ткани и печени определяли с помощью масс-спектрометра Elan DRC-e 9000 (Perkin Elmer, USA), концентрацию *Fe* в сыворотке крови цыплят-бройлеров — фотометрическим методом с феррозином без депротеинизации при помощи набора ветеринарных диагностических реагентов. Морфологический анализ

Таблица 1. Характеристика рациона цыплят-бройлеров
Table 1. Characteristics of the diet of broiler chickens

Показатель	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Энергетическая ценность стартового рациона, МДж/кг	12,61	13,3	14,78
Энергетическая ценность ростового рациона, МДж/кг	12,99	13,7	15,0
Уровень подсолнечного масла в рационе, старт/рост, %	1/2	3/4	5/6
Содержание <i>Zn</i> в рационе, мг/кг	65–70		
Содержание <i>Fe</i> , мг/кг	80–90		
Содержание <i>Cu</i> , мг/кг	10–11		

Таблица 2. Питательная ценность рациона цыплят-бройлеров
Table 2. Nutritional value of the diet of broiler chickens

Компоненты	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Стартовый рацион			
Обм. энергия, МДж/кг	12,61	13,3	14,78
Сырой протеин	22,4	20,35	21,9
Сырой жир	4,74	6,03	7,44
Сырая клетчатка	4,5	4,3	3,9
<i>Ca</i> , г	10,2	10,25	10,31
<i>P</i> , г	6,89	6,72	5,34
<i>Na</i> , г	1,52	1,47	1,18
<i>Fe</i> , мг	89	92	78,0
<i>Cu</i> , мг	10,06	11,3	10,1
<i>Zn</i> , мг	72,68	71,23	67,46
<i>Mn</i> , мг	42,57	42,26	38,1
<i>Co</i> , мг	0,8	0,91	0,83
Ростовой рацион			
Обм. энергия, МДж/кг	12,99	13,7	15,0
Сырой протеин	18,2	18,9	18,77
Сырой жир	4,39	7,7	7,7
Сырая клетчатка	4,1	4,0	3,58
<i>Ca</i> , г	10,12	10,26	10,4
<i>P</i> , г	6,32	5,78	5,21
<i>Na</i> , г	1,48	1,29	1,02
<i>Fe</i> , мг	74,0	88,0	77,85
<i>Cu</i> , мг	9,98	11,1	9,93
<i>Zn</i> , мг	70,32	68,46	63,22
<i>Mn</i> , мг	41,69	40,1	37,65
<i>Co</i> , мг	0,6	0,85	0,7

¹ Фисинин В.И., Егоров И.А., Драганов И.Ф. Кормление сельскохозяйственной птицы: учеб. пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2011; 337.

² ГОСТ Р 1129-2013 Масло подсолнечное. Технические условия.

крови определяли на автоматическом ветеринарно-гематологическом анализаторе DF50 Vet (Dymind, Китай). Химический состав комбикормов определяли по ГОСТ 13496.15-2016³, ГОСТ 13496.4-2019⁴, ГОСТ 31675-2012⁵, отбор проб проводили по ГОСТ 13496.0-2016⁶.

При проведении экспериментальных исследований были предприняты меры, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить количество исследованных опытных образцов. Исследования выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов⁷, и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009⁸). Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФГБНУ Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

Статистический анализ проводили с использованием программы Microsoft Excel и Statistica 10.0. Значения показаны как среднее $\pm$ стандартное отклонение для переменных, которые соответствуют критериям нормальности. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$ (t — критерий Стьюдента).

Результаты и обсуждение/Results and discussion

Изменения концентрации микроэлементов в биологических жидкостях и тканях может вызываться несколькими причинами, в первую очередь недостаточным поступлением с пищей и нарушением процессов сорбции в кишечнике [1].

Печень является важным органом для детоксикации, метаболизма, синтеза и секреции гормонов, иммунных реакций, а также для хранения гликогена и микроэлементов. Таким образом, здоровье печени напрямую связано с общим состоянием здоровья и показателями роста цыплят-бройлеров [9]. Печень — центр регуляции гомеостаза *Fe* в организме, его концентрация считается чувствительным критерием оценки биодоступности [10].

Исследование минерального состава печени показало, что в I и II опытных группах содержание *Zn* снизилось, соответственно, на 2,2 мг/кг и 2,8 мг/кг относительно контроля, в то время как показатели I и II опытных групп превысили контрольные значения концентрации *Fe* на 45,2 мг/кг и 67,9 мг/кг соответственно (рис. 1).

Накопление *Fe* в печени явилось результатом увеличения скорости переноса *Fe* из эритроцитов в печень вследствие потребления высокожирового рациона [11]. Повышение уровня отложения *Fe* может привести к повреждению тканей и нарушению функций органа, в частности к фиброзу и циррозу [12].

Для восполнения потребности организма в *Zn* требуется его регулярное поступление с кормом в достаточном количестве. Суммируя приведенные результаты, было показано, что повышенный уровень жиров в рационе вызывает снижение концентрации *Zn* в тканях. Эти изменения в метаболизме, по-видимому, тесно связаны с изменениями уровней экспрессии переносчиков *Zn* в тканях поджелудочной железы и печени [13].

Индикатором содержания в организме и биодоступности *Cu* является концентрация ее в печени как основном органе, отвечающем за метаболизм данного

Рис. 1. Содержание *Zn*, *Fe* в печени цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres контрольной и опытных групп, мг/кг

Fig. 1. The content of *Zn*, *Fe* in the liver of broiler chickens of the Arbor Acres cross of the control and experimental groups, mg/kg

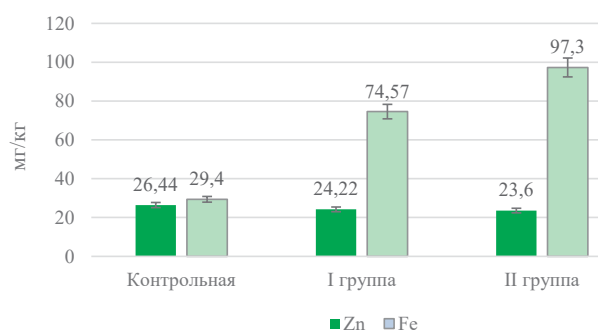
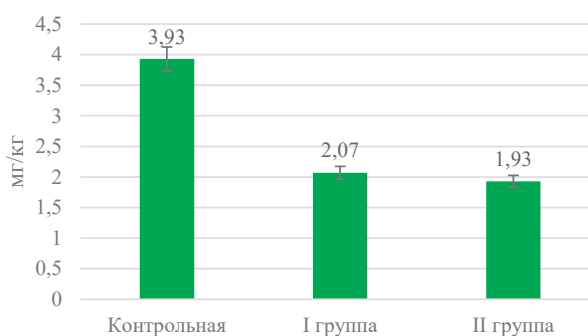


Рис. 2. Содержание *Cu* в печени цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres контрольной и опытных групп, мг/кг

Fig. 2. *Cu* content in liver of Arbor Acres cross broiler chickens of control and experimental groups, mg/kg



минерала [14]. Результаты анализа показали, что концентрация *Cu* в опытных группах снижается с увеличением содержания жира в рационе в I и II опытных группах на 47,3% и 6,7% соответственно (рис. 2).

Печень накапливает *Cu*, но при дефиците *Cu* в рационе печень высвобождает ее в кровоток для удовлетворения физиологических потребностей животных [15]. Результаты согласуются с ранее полученными исследованиями, выявившими, что рацион с высоким содержанием жиров значительно снижает уровень *Cu* в печени в связи с тем, что жирные кислоты снижают скорость поглощения *Cu* [16].

Кости являются функциональным резервом *Zn* [17] и используются в качестве чувствительного индикатора реакции на изменение его концентрации [18]. Увеличение обменной энергии в рационе за счет растительного жира привело к значительному снижению *Zn* в костной ткани в опытных группах. Так, в I и II опытных группах концентрация *Zn* составила 120,02 мг/кг и 105,36 мг/кг ($p < 0,05$), что ниже контрольных значений на 2,8% и 14,7% ($p < 0,05$) соответственно.

Содержание *Fe* в группах составило: контрольная — 362,05 мг/кг; I группа — 329,8 мг/кг ($p < 0,05$); II группа — 286,5 мг/кг. Отметим также концентрацию *Cu* в группах: контрольная — 1,58 мг/кг; I группа — 1,31 мг/кг; II группа — 1,36 мг/кг.

³ ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира.

⁴ ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина.

⁵ ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации.

⁶ ГОСТ 13496.0-2016 Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы отбора проб.

⁷ Приказ Минздрава СССР от 12.08.1977 № 755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных».

⁸ ГОСТ Р 53434-2009 Принципы надлежащей лабораторной практики.

Разница контроля с I и II группами составила: *Fe* — 8,9% ($p < 0,05$) и 20,9%, *Cu* — 17% и 14,1% соответственно (рис. 3).

Высокое содержание обменной энергии в рационе птицы вызывает снижение концентрации минеральных элементов в костной ткани [19]. Свободные жирные кислоты, связываясь с ионами металлов, образуют нерастворимые мыла, за счет чего снижается всасывание микроэлементов. Более того, рацион с включением жиров способствует снижению концентрации *Fe* в организме. Мобилизация минералов из депо напрямую зависит от поступления макро- и микроэлементов с кормом, интенсивности их всасывания и выделения, распределения в организме [20].

Традиционно для оценки статуса *Fe* у цыплят использовались гематологические показатели. Гематологические показатели во время откорма зависят не только от содержания *Fe* в корме, но также от начальной концентрации гемоглобина в крови и запасов *Fe* в печени, селезенке и костном мозге.

При скормливания цыплятам-бройлерам рационов с высоким содержанием жира наблюдаются изменения концентрации гемоглобина и гематокрита в крови. Так, показатели гемоглобина в группах составили: контрольная — 106,4 г/л; I — 112,4 г/л; II — 105,4 г/л. Уровень гематокрита повышался в I и II опытных группах, показатели составили, соответственно, 20,16% и 19,1%, в то время как данный показатель в контрольной группе был на уровне 18,8% (рис. 4).

Результаты показывают, что изменение уровня *Fe*, вызванное увеличением доли жиров в рационе, сказывается на гематокрите, что согласуется с ранее проведенными исследованиями. В данном случае изменение концентрации *Fe* в организме цыплят-бройлеров вызвано корректировкой рациона по жировому составу. Первоначально проведенные исследования указывают на модуляцию гомеостаза *Fe* в зависимости от содержания жира в пище, что подтверждает полученные данные [21].

Результат биохимического анализа сыворотки крови показал: что в I группе концентрация *Fe* — 21,44 мкмоль/л, во II группе — 19,98 мкмоль/л, показатель контрольной группы — 21,02 мкмоль/л (рис. 5).

Диффузия *Fe* из сыворотки в ткани печени является следствием потребления высоколипидного рациона [11].

Выводы / Conclusion

На основании исследований установлено, что скормливание цыплятам-бройлерам рациона с высоким содержанием жиров вызывает изменения в метаболизме некоторых микроэлементов и приводит к нарушению их всасывания, а именно наблюдается накопление *Fe* в печени, что может быть связано с увеличением скорости его переноса из эритроцитов в печень. Повышение уровня жиров в рационе способствует снижению концентрации *Zn* в тканях вследствие нарушения метаболизма, связанного с изменениями уровней экспрессии переносчиков *Zn* в тканях поджелудочной железы и печени. Морфологические изменения крови

Рис. 3. Разница уровня *Fe*, *Cu* и *Zn* в костной ткани цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres опытных групп относительно контроля, %
Fig. 3. The difference in the level of *Fe*, *Cu* and *Zn* in the bone tissue of chickens-broilers of the Arbor Acres cross of the experimental groups relative to the control, %

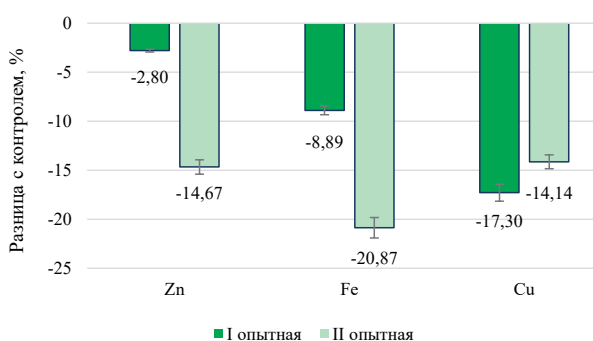


Рис. 4. Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres в возрасте 42 суток
Fig. 4. Morphological parameters of blood of Arbor Acres chickens-broilers at the age of 42 days

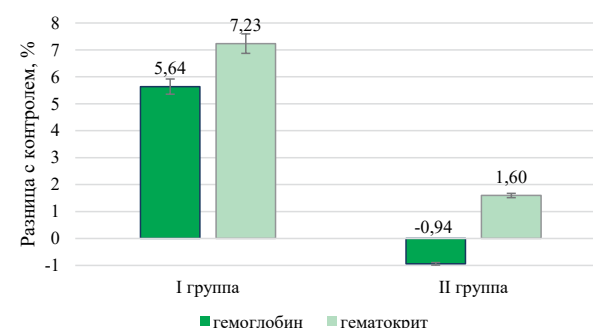
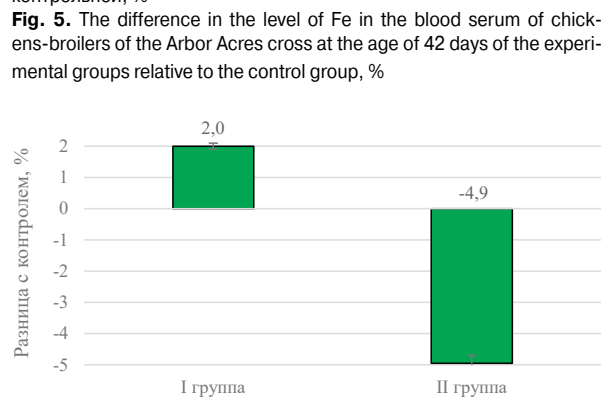


Рис. 5. Разница уровня *Fe* в сыворотке крови цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres в возрасте 42 суток опытных групп относительно контрольной, %
Fig. 5. The difference in the level of *Fe* in the blood serum of chickens-broilers of the Arbor Acres cross at the age of 42 days of the experimental groups relative to the control group, %



цыплят-бройлеров, возможно, связаны с модуляцией гомеостаза *Fe* в организме птицы на фоне скормливания жиров, в связи с этим в дальнейшем требуется определить абсолютное количество всех форменных элементов и биохимических показателей циркулирующей крови и минералов для оценки возможной необходимости коррекции минерального питания при скормливания высоких доз жиров в рационах.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ:

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ravindran V., Tanchaorenrat 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. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2016.01.012>
2. Taschetto D. *et al.* Iron requirements of broiler breeder hens. *Poultry Science*. 2017; 96(11): 3920–3927. <https://doi.org/10.3382/ps/pex208>
3. Шейко И.П. и др. Органические микроэлементы в кормлении сельскохозяйственных животных и птиц. *Зоотехния*. 2015; (1): 14–17. <https://elibrary.ru/tkpfel>
4. Liao X., Ma C., Lu L., Zhang L., Luo X. Determination of dietary iron requirements by full expression of iron-containing cytochrome c oxidase in the heart of broilers from 22 to 42 d of age. *British Journal of Nutrition*. 2017; 118(7): 493–499. <https://doi.org/10.1017/S0007114517002458>
5. Nguyen H.T.T., Kheravii S.K., Wu S.-b., Roberts J.R., Swick R.A., Toghyani M. Sources and levels of copper affect liver copper profile, intestinal morphology and cecal microbiota population of broiler chickens fed wheat-soybean meal diets. *Scientific Reports*. 2022; 12: 2249. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06204-9>
6. Bortoluzzi C., Vieira B.S., Applegate T.J. Influence of Dietary Zinc, Copper, and Manganese on the Intestinal Health of Broilers Under Eimeria Challenge. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 13. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00013>
7. Sridhar K., Nagalakshmi D., Srinivasa Rao D., Rama Rao S.V. Effect of dietary addition of organic zinc on performance and carcass traits in commercial broiler chicken. *Indian Journal of Poultry Science*. 2014; 49(2): 155–158.
8. Ao T., Pierce J. The replacement of inorganic mineral salts with mineral proteinates in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*. 2013; 69(1): 5–16. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000019>
9. Majewska D. *et al.* Comparison of the mineral and fatty acid profiles of ostrich, turkey and broiler chicken livers. *British Poultry Science*. 2016; 57(2): 193–200. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1154136>
10. Lu L. *et al.* Metabolic utilization of intravenously injected iron from different iron sources in target tissues of broiler chickens. *Animal Nutrition*. 2021; 9: 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.06.018>
11. Lobo A.R. *et al.* Increased adiposity by feeding growing rats a high-fat diet results in iron decompartmentalisation. *British Journal of Nutrition*. 2020; 123(10): 1094–1108. <https://doi.org/10.1017/S0007114519002320>
12. Visscher C. *et al.* Fat content, fatty acid pattern and iron content in livers of turkeys with hepatic lipidosis. *Lipids in Health and Disease*. 2017; 16: 98. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0484-8>
13. Min B., Chung J. Effects of high-fat diet induced obesity on tissue zinc concentrations and zinc transporter expressions in mice. *Journal of Nutrition and Health*. 2018; 51(6): 489–497. (In Korean) <https://doi.org/10.4163/jnh.2018.51.6.489>
14. Adegbenjo A.A. *et al.* Effects of dietary supplementation with copper sulphate and copper proteinate on plasma trace minerals, copper residues in meat tissue, organs, excreta and tibia bone of cockerels. *Slovak Journal of Animal Science*. 2014; 47(3): 164–171.
15. da Cruz Ferreira Júnior H. *et al.* Broiler responses to copper levels and sources: growth, tissue mineral content, antioxidant status and mRNA expression of genes involved in lipid and protein metabolism. *BMC Veterinary Research*. 2022; 18: 223. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03286-5>
16. Morrell A., Tallino S., Yu L., Burkhead J.L. The role of insufficient copper in lipid synthesis and fatty-liver disease. *IUBMB Life*. 2017; 69(4): 263–270. <https://doi.org/10.1002/iub.1613>
17. Naz S. *et al.* The activity and use of zinc in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*. 2016; 72(1): 159–167. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002755>
18. Ma Y.L., Lindemann M.D., Webb S.F., Rentfrow G. Evaluation of trace mineral source and preharvest deletion of trace minerals from finishing diets on tissue mineral status in pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 31(2): 252–262. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0189>
19. Рязанцева К.В., Сизова Е.А. Химический состав костной ткани цыплят-бройлеров на фоне высокоэнергетического рациона. Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий. Сборник VI Всероссийской (национальной) научной конференции с международным участием. *Новосибирск*. 2021; 406–410. <https://elibrary.ru/azgww>
20. Çalik A. *et al.* Effects of Calcium Soaps of Animal Fats on Performance, Abdominal Fat Fatty Acid Composition, Bone Biomechanical Properties, and Tibia Mineral Concentration of Broilers. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2019; 25(1): 61–70. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.20329>
21. Coates T.D. Physiology and pathophysiology of iron in hemoglobin-associated diseases. *Free Radical Biology and Medicine*. 2014; 72: 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2014.03.039>

ОБ АВТОРАХ:

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, заведующая лабораторией нанотехнологий в сельском хозяйстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, ул. 9 Января, д. 29, Оренбург, 460000, Россия sizova.l78@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

Кристина Владимировна Рязанцева, младший научный сотрудник, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН, ул. 9 Января, д. 29, Оренбург, 460000, Россия reger94@bk.ru <https://orcid.org/0000-0001-5134-0396>

FUNDING:

The work was performed in accordance to the plan of research works for 2021–2023 FSSI FRC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

REFERENCES

1. Ravindran V., Tanchaorenrat 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. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2016.01.012>
2. Taschetto D. *et al.* Iron requirements of broiler breeder hens. *Poultry Science*. 2017; 96(11): 3920–3927. <https://doi.org/10.3382/ps/pex208>
3. Sheyko I.P. *et al.* Organization of complete feeding of farm animals using organic trace nutrients. *Zootekhnika*. 2015; (1): 14–17. (In Russian) <https://elibrary.ru/tkpfel>
4. Liao X., Ma C., Lu L., Zhang L., Luo X. Determination of dietary iron requirements by full expression of iron-containing cytochrome c oxidase in the heart of broilers from 22 to 42 d of age. *British Journal of Nutrition*. 2017; 118(7): 493–499. <https://doi.org/10.1017/S0007114517002458>
5. Nguyen H.T.T., Kheravii S.K., Wu S.-b., Roberts J.R., Swick R.A., Toghyani M. Sources and levels of copper affect liver copper profile, intestinal morphology and cecal microbiota population of broiler chickens fed wheat-soybean meal diets. *Scientific Reports*. 2022; 12: 2249. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06204-9>
6. Bortoluzzi C., Vieira B.S., Applegate T.J. Influence of Dietary Zinc, Copper, and Manganese on the Intestinal Health of Broilers Under Eimeria Challenge. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020; 7: 13. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00013>
7. Sridhar K., Nagalakshmi D., Srinivasa Rao D., Rama Rao S.V. Effect of dietary addition of organic zinc on performance and carcass traits in commercial broiler chicken. *Indian Journal of Poultry Science*. 2014; 49(2): 155–158.
8. Ao T., Pierce J. The replacement of inorganic mineral salts with mineral proteinates in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*. 2013; 69(1): 5–16. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000019>
9. Majewska D. *et al.* Comparison of the mineral and fatty acid profiles of ostrich, turkey and broiler chicken livers. *British Poultry Science*. 2016; 57(2): 193–200. <https://doi.org/10.1080/00071668.2016.1154136>
10. Lu L. *et al.* Metabolic utilization of intravenously injected iron from different iron sources in target tissues of broiler chickens. *Animal Nutrition*. 2021; 9: 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.06.018>
11. Lobo A.R. *et al.* Increased adiposity by feeding growing rats a high-fat diet results in iron decompartmentalisation. *British Journal of Nutrition*. 2020; 123(10): 1094–1108. <https://doi.org/10.1017/S0007114519002320>
12. Visscher C. *et al.* Fat content, fatty acid pattern and iron content in livers of turkeys with hepatic lipidosis. *Lipids in Health and Disease*. 2017; 16: 98. <https://doi.org/10.1186/s12944-017-0484-8>
13. Min B., Chung J. Effects of high-fat diet induced obesity on tissue zinc concentrations and zinc transporter expressions in mice. *Journal of Nutrition and Health*. 2018; 51(6): 489–497. (In Korean) <https://doi.org/10.4163/jnh.2018.51.6.489>
14. Adegbenjo A.A. *et al.* Effects of dietary supplementation with copper sulphate and copper proteinate on plasma trace minerals, copper residues in meat tissue, organs, excreta and tibia bone of cockerels. *Slovak Journal of Animal Science*. 2014; 47(3): 164–171.
15. da Cruz Ferreira Júnior H. *et al.* Broiler responses to copper levels and sources: growth, tissue mineral content, antioxidant status and mRNA expression of genes involved in lipid and protein metabolism. *BMC Veterinary Research*. 2022; 18: 223. <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03286-5>
16. Morrell A., Tallino S., Yu L., Burkhead J.L. The role of insufficient copper in lipid synthesis and fatty-liver disease. *IUBMB Life*. 2017; 69(4): 263–270. <https://doi.org/10.1002/iub.1613>
17. Naz S. *et al.* The activity and use of zinc in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*. 2016; 72(1): 159–167. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002755>
18. Ma Y.L., Lindemann M.D., Webb S.F., Rentfrow G. Evaluation of trace mineral source and preharvest deletion of trace minerals from finishing diets on tissue mineral status in pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2018; 31(2): 252–262. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0189>
19. Ryzantseva K.V., Sizova E.A. The chemical composition of the bone tissue of broiler chickens against the background of a high-energy diet. The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas. Collection of the VI All-Russian (national) scientific conference with international participation. *Novosibirsk*. 2021; 406–410. (In Russian) <https://elibrary.ru/azgww>
20. Çalik A. *et al.* Effects of Calcium Soaps of Animal Fats on Performance, Abdominal Fat Fatty Acid Composition, Bone Biomechanical Properties, and Tibia Mineral Concentration of Broilers. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. 2019; 25(1): 61–70. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2018.20329>
21. Coates T.D. Physiology and pathophysiology of iron in hemoglobin-associated diseases. *Free Radical Biology and Medicine*. 2014; 72: 23–40. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2014.03.039>

ABOUT THE AUTHORS:

Elena Anatolievna Sizova, Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Nanotechnology in Agriculture, Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 January str., Orenburg, 460000, Russia sizova.l78@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

Kristina Vladimirovna Ryzantseva, junior research assistant, Federal Scientific Center of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 January str., Orenburg, 460000, Russia reger94@bk.ru <https://orcid.org/0000-0001-5134-0396>