

Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 119-129.  
Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. Vol. 105, no 1. P. 119-129.

Научная статья  
УДК 636.5:577.17  
doi:10.33284/2658-3135-105-1-119

**Влияние различных доз диоксида кремния на концентрацию органических кислот и микроэлементов в печени цыплят-бройлеров**

**Александра Сергеевна Мустафина<sup>1</sup>, Рамис Зуфарович Мустафин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>2</sup> Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup> vshivkovaas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9525-2822>

<sup>2</sup> mustafinrz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5217-6436>

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования аминокислотного, жирно-кислотного и элементного состава печени цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres, в кормлении которых использовали ультрадисперсные частицы (УДЧ) SiO<sub>2</sub> в дозе 100, 200, 300 и 400 мг/кг комби-корма. Установлено, что применение УДЧ SiO<sub>2</sub> при выращивании цыплят-бройлеров способствует увеличению в печени птицы опытных групп содержания аргинина на 0,45-0,70 %, гистидина – на 0,75-1,60 %, а концентрация метионина снизилась на 0,30-0,74 % по сравнению с образцами печени цыплят контрольной группы. Использование УДЧ SiO<sub>2</sub> в кормлении цыплят-бройлеров привело к увеличению содержания полезных жирных кислот в образцах печени цыплят-бройлеров опытных групп: линолевой кислоты – на 3,3-3,8 %, линоленовой – на 0,2-0,3 %, олеиновой – на 0,6-1,8 % по сравнению с аналогичными показателями в печени цыплят контрольной группы. Изучение элементного состава печени показало, что применение УДЧ SiO<sub>2</sub> способствовало увеличению концентрации железа в печени цыплят опытных групп в 1,5-2,0 раза, марганца – в 1,3-1,8 раз, меди – в 1,4-1,8 раз, цинка – на 3,8-40,0 %, а содержание кадмия уменьшилось в 1,2-2,0 раза, кобальта – на 4,5-15,5 %, свинца – на 15-36 %, по сравнению с аналогичными показателями в контрольной группе. Таким образом использование УДЧ SiO<sub>2</sub> в кормлении цыплят-бройлеров в дозировке 300-400 мг/кг корма способствует накоплению в печени заменимых и незаменимых аминокислот, полезных жирных кислот, снижает концентрацию тяжёлых металлов, тем самым повышая биологическую и пищевую ценность печени как субпродукта.

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры, кормление, ультрадисперсные частицы, диоксид кремния, печень, аминокислоты, жирные кислоты, элементы

**Благодарности:** работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005)

**Для цитирования:** Мустафина А.С., Мустафин Р.З. Влияние различных доз диоксида кремния на концентрацию органических кислот и микроэлементов в печени цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 1. С. 119-129. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-119>

Original article

**The effect of different doses of silicon dioxide on the concentration of organic acids and trace elements in liver of broiler chickens**

**Alexandra S Mustafina<sup>1</sup>, Ramis Z Mustafin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>2</sup>Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>vshivkovaas@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9525-2822>

<sup>2</sup>mustafinrz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5217-6436>

**Abstract.** The article presents the results of a study of the amino acid, fatty acid and elemental composition of liver of broiler chickens of Arbor Acres cross, which were fed with ultrafine SiO<sub>2</sub> at a dose of 100, 200, 300 and 400 mg/kg of compound feed. It has been established that the use of ultrafine SiO<sub>2</sub> when growing broiler chickens contributes to an increase in the arginine content in the liver of

experimental groups by 0.45-0.70%, histidine by 0.75-1.60%, and the concentration of methionine decreased by 0.30-0.74% compared to the liver samples of the control group chickens. The use of ultrafine SiO<sub>2</sub> in feeding broiler chickens led to an increase in the content of useful fatty acids in the liver samples of broiler chickens of experimental groups: linoleic acid - by 3.3-3.8%, linolenic acid - by 0.2-0.3%, oleic - by 0.6-1.8% compared with similar indicators in the liver of chickens of the control group. The study of the elemental composition of liver showed that the use of ultrafine SiO<sub>2</sub> contributed to an increase in the concentration of iron in the liver of chickens of the experimental groups by 1.5-2.0 times, manganese - by 1.3-1.8 times, copper - by 1.4-1.8 times, zinc - by 3.8-40.0%, and the content of cadmium decreased by 1.2-2.0 times, cobalt - by 4.5-15.5%, lead - by 15-36%, according to compared with those in the control group. Thus, the use of ultrafine SiO<sub>2</sub> in feeding broiler chickens at a dosage of 300-400 mg/kg of feed promotes the accumulation of essential and essential amino acids, useful fatty acids in the liver, reduces the concentration of heavy metals, thereby increasing the biological and nutritional value of the liver as an offal.

**Keywords:** broiler chickens, feeding, ultrafine particles, silicon dioxide, liver, amino acids, fatty acids, elements

**Acknowledgments:** the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBR FRC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

**For citation:** Mustafina AS, Mustafin RZ. The effect of different doses of silicon dioxide on the concentration of organic acids and trace elements in liver of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):119-129. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-119>

### **Введение.**

Производство мяса птицы продолжает расти. По результатам оценки, из-за ожидаемого роста численности населения мировое потребление продуктов из птицы к 2029 году вырастет до 145 миллионов тонн, что составляет 50 % от 12 % увеличения мирового потребления мяса, прогнозируемого к 2029 году (Ao T et al., 2015). Для обеспечения производительности птицефабрик используются современные кроссы цыплят-бройлеров, которые прошли интенсивный генетический отбор, связанный с высокими темпами роста мышечной ткани и эффективностью использования корма. При этом производственные циклы стали короче и низкзатратными (Mustafina AS et al., 2021b).

Постоянное увеличение производства мяса цыплят-бройлеров в первую очередь связано с генетической селекцией, а также условиями полноценного и сбалансированного кормления и внедрением новых ресурсосберегающих и эффективных технологий (Van Immerseel F et al., 2017). В последние десятилетия именно качество мяса становится важным фактором, влияющим на потребительский спрос. Содержание внутримышечного жира и состав его жирных кислот являются основополагающими критериями, которые влияют на вкус, сочность, нежность, цвет мышц и общий вкус (Fan W et al., 2020). Интенсивный отбор птицы по скорости роста мышечной ткани ускорил возникновение метаболических нарушений (Julian RJ, 2005).

Печень определяется как основной внутренний орган птицы, выполняющий различные метаболические и гомеостатические функции, включая пищеварение, метаболизм, биосинтез, выведение и детоксикацию. Нарушение функции печени приводит к снижению показателей роста и угрожает здоровью птиц, что приводит к экономическим потерям для птицеводства (Zaefarian F et al., 2019; Almansour M et al., 2018). Кроме того, исследования на млекопитающих показывают, что заболевания печени могут быть связаны с нервно-мышечными и психологическими расстройствами (David I et al., 2014; Cevenini A et al., 2020).

Наночастицы широко вошли в нашу жизнь. Они применяются во всех секторах экономики, в том числе биотехнологии, медицине и сельском хозяйстве (Мирошников С.А. и Сизова Е.А., 2017). Использование УДЧ SiO<sub>2</sub> при выращивании животных и птицы способствовало снижению затрат на производство единицы продукции и повысило вкусовую и пищевую ценность мясной продукции (Мирошников С.А. и др., 2020).

Пористый кремний не только биосовместим, но и биоразлагаем. Это связано с его большой площадью поверхности. Продукт его разложения представляет собой соединение, которое способствует ряду синергетических эффектов в отношении регенерации костей (Юзова В.А. и др., 2011). Установлено, что частицы, изготовленные из пористого кремния, не изменяются при хранении, но легко вступают в реакции и разлагаются в плазме, крови и тканях (Vasconcellos R et al., 2016).

При выращивании сельскохозяйственных животных и птицы активно используют УДЧ SiO<sub>2</sub>, так как он необходим для роста и развития, формирования костной и соединительной тканей, нормального обмена жиров, белков, углеводов, макро- и микроэлементов, витаминов (Буянкин Н., 2011; Еремин С.В., 2016), но при этом в литературе нет данных о его влиянии на качество мяса и субпродуктов, а также их биологическую и пищевую ценность.

**Цель исследования.**

Изучение влияния различных доз ультрадисперсного диоксида кремния на аминокислотный, жирно-кислотный и элементный состав печени цыплят-бройлеров.

**Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Цыплята-бройлеры кросса Arbor Acres.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

**Схема эксперимента.** Для проведения опыта в условиях вивария ФНЦ БСТ РАН было отобрано 150 голов семисуточных здоровых цыплят-бройлеров и по принципу групп-аналогов сформированы опытные группы. Опытную птицу кормили сухими сбалансированными комбикормами два раза в сутки. Комбикорм составлен с учётом рекомендуемых норм ВНИТИП (Фисинин В.И. и др., 2004). Цыплята контрольной группы на протяжении 35 дней эксперимента получали основной рацион, а птице опытных групп в период учётного периода (14-42 сутки) дополнительно вводили УДЧ SiO<sub>2</sub> после диспергирования в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА, 45 мин): I опытной группе – в дозе 100 мг/кг корма, II опытной – 200 мг/кг, III опытной – 300 мг/кг, IV опытной – 400 мг/кг. В качестве изучаемого препарата использовали диоксид кремния в ультрадисперсном виде, в котором массовая доля кремния – не менее 99,8 %, гидродинамический диаметр – 388±117 нм.

В ходе контрольного убоя птицы в возрасте 42 суток были отобраны и сформированы пробы печени цыплят-бройлеров, а также взята кровь для проведения испытаний.

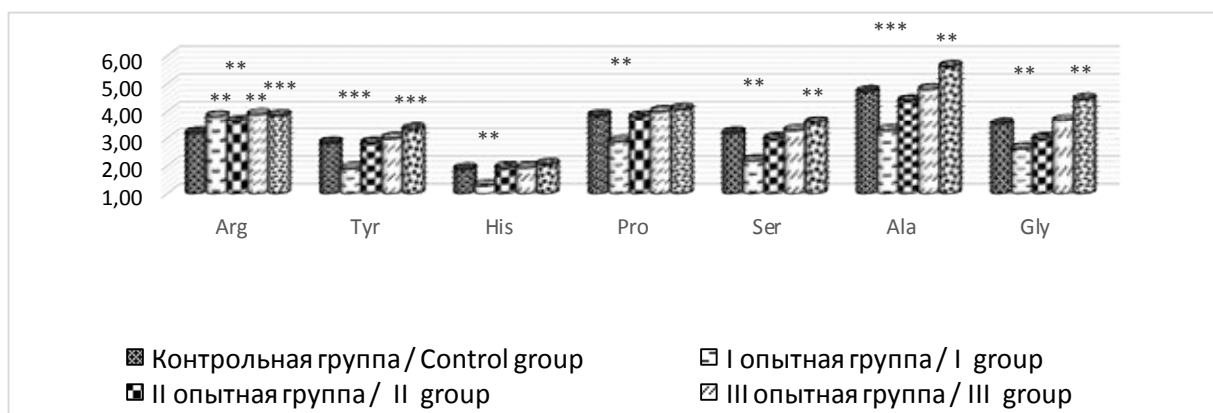
**Оборудование и технические средства.** Лабораторные исследования выполнены в ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Были использованы следующие приборы: система капиллярного электрофореза «Капель-105» (ООО «Люмэкс-маркетинг», Россия), хроматограф газовый "Кристалл 2000М" (ЗАО СКБ "Хроматэк", Россия), спектрометр атомно-абсорбционный с пламенной атомизацией «КВАНТ-2» (ООО «КОРТЭК», Россия). Исследования крови (аспартатаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ)) проводили на биохимическом анализаторе CS-T240 (Dirui Industrial Co., Ltd, КНР).

**Статистическая обработка.** Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Данные представлены в виде: среднее (M) ± стандартная ошибка среднего (m). Определение достоверности различий определяли по t-критерию Стьюдента. Достоверными считали результаты при P≤0,05.

**Результаты исследования.**

В ходе аминокислотного анализа печени цыплят-бройлеров было установлено, что в образцах печени цыплят I-IV опытных групп отмечено достоверное (P≤0,05, P≤0,01) увеличение содержания аргинина на 0,62 %, 0,45 %, 0,70 % и 0,67 % соответственно. Концентрация гистидина увеличилась на 0,75-1,60 % в печени цыплят-бройлеров II-IV опытных групп (рис. 1).

Наибольшая концентрация таких аминокислот как тирозин, пролин, серин, аланин, глицин была отмечена в образцах печени опытной птицы III и IV групп и составляла 0,16 % и 0,50 % (P≤0,001), 0,13 % и 0,23 %, 0,10 % и 0,40 % (P≤0,01), 0,07 % и 0,9 % (P≤0,01), 0,13 % и 0,91 % (P≤0,01) соответственно по сравнению с аналогичными показателями контрольной группы. В образце печени цыплят-бройлеров I опытной группы содержание тирозина, гистидина, пролина, серина, аланина и глицина уменьшилась на 0,92 % (P≤0,001), 0,60 % (P≤0,01), 0,97 % (P≤0,01), 1,0 % (P≤0,01), 1,44 % (P≤0,001) и 0,91 % (P≤0,01) соответственно по сравнению с содержанием этих же кислот в печени цыплят контрольной группы.



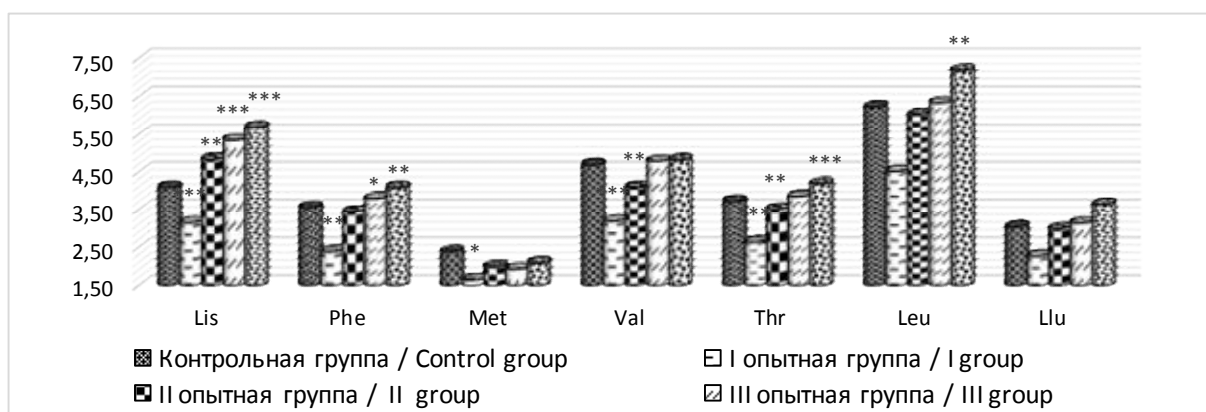
**Рис. 1 – Содержание аминокислот в печени цыплят-бройлеров**

**Figure 1 – The content of amino acids in liver of broiler chickens**

Примечание: \*\* –  $P \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0,001$  сравнение с контрольной группой

Note: \*\* –  $P \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0.001$  in comparison with control group

В образцах печени цыплят-бройлеров всех опытных групп наблюдалось уменьшение концентрации метионина на 0,30-0,74 % по сравнению с образцами печени цыплят контрольной группы (рис. 2).



**Рис. 2 – Содержание незаменимых аминокислот в печени цыплят-бройлеров**

**Figure 2 – The content of essential amino acids in liver of broiler chickens**

Примечание: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0,001$  в сравнении с контрольной группой

Note: \* –  $P \leq 0.05$ ; \*\* –  $P \leq 0.01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0.001$  in comparison with control group

В образцах печени цыплят-бройлеров III-IV опытных групп отложилось большее количество таких незаменимых аминокислот как лейцин, изолейцин, валин, треонин, фенилаланин на 0,11 % и 0,96 % ( $P \leq 0,01$ ), 0,10 % и 0,60 %, 0,10 % и 0,13 %, 0,13 % и 0,47 % ( $P \leq 0,001$ ), 0,23 % ( $P \leq 0,05$ ) и 0,53 % ( $P \leq 0,01$ ) соответственно по сравнению с аналогичными показателями контрольной группы.

Содержание лизина увеличилось на 0,75-1,60 % в образцах печени цыплят-бройлеров II, III и IV опытных групп по сравнению с аналогичным показателем контрольной группы.

В ходе научного эксперимента было выявлено увеличение содержания полезных жирных кислот в образцах печени цыплят-бройлеров опытных групп, таких как линолевой кислоты – на 3,3-3,8 %, линоленовой – на 0,2-0,3 %, олеиновой – на 0,6-1,8 % по сравнению с аналогичными показателями в печени цыплят контрольной группы (табл. 1).

Таблица 1. Массовая доля жирных кислот от общего количества жирных кислот, % (M±m)  
Table 1. Mass fraction of fatty acid from the total of fatty acids, % (M±m)

Название кислоты/ <i>Name of acid</i>	Групп / <i>Group</i>				
	контроль- ная / <i>Control</i>	I опыт- ная / <i>I group</i>	II опытная / <i>II group</i>	III опытная / <i>III group</i>	IV опытная / <i>IV group</i>
Пальмитиновая / <i>Palmitic</i>	24,6±2,31	23,3±2,13	20,8±1,54	20,9±2,46	20,8±2,13
Пальмитолеиновая/ <i>Palmitoleic</i>	4,5±0,32	3,1±0,19	3,5±0,27	3,2±0,25	3,3±0,29
Стеариновая / <i>Stearic</i>	25,4±1,94	23,2±1,81	23,5±1,39	21,9±2,05	21,4±3,17
Олеиновая / <i>Oleic</i>	25,5±1,83	26,1±2,07	26,2±2,09	27,3±2,21	26,5±1,97
Линолевая / <i>Linoleic</i>	18,7±1,31	22,0±1,97	22,4±2,16	22,2±1,86	22,5±1,76
Линоленовая / <i>Linolenic</i>	0,3±0,03	0,3±0,04	0,6±0,03	0,5±0,02	0,5±0,04

Содержание пальмитиновой жирной кислоты в образцах печени цыплят-бройлеров I-IV опытных групп снизилось на 1,3 %, 3,8 %, 3,7 % и 3,8 % соответственно, содержание пальмитолеиновой кислоты – на 1,4 %, 1,0 %, 1,3 % и 1,2 %, стеариновой кислоты – на 2,2 %, 1,9 %, 3,5 % и 4,0 % соответственно по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 2. Ферменты крови, ед/л (M±m)  
Table 2. Blood enzymes, u/l (M±m)

Показатель / <i>Indicator</i>	Групп / <i>Group</i>				
	контрольная / <i>Control</i>	I опытная / <i>I group</i>	II опытная / <i>II group</i>	III опытная / <i>III group</i>	IV опытная / <i>IV group</i>
АСТ / <i>AST</i>	123,0±2,10	124,7±4,35	130,0±2,26	137,4±4,34	138,4±7,79
АЛТ / <i>ALT</i>	5,17±2,31	7,37±0,47	7,03±0,35	7,50±0,57	7,53±0,78

Как видно из таблицы 2, резкого увеличения содержания АСТ и АЛТ в крови цыплят-бройлеров опытных групп не было отмечено, хотя наблюдалось дозозависимое повышение активности этих ферментов, что говорит об усилении работы печени на фоне действия УДЧ SiO<sub>2</sub>.

В ходе эксперимента было изучено накопление металлов в печени цыплят-бройлеров. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Из данных таблицы видно, что применение УДЧ SiO<sub>2</sub> способствовало увеличению концентрации железа в печени цыплят опытных групп в 1,5-2,0 раза, марганца – в 1,3-1,8 раз, меди – в 1,4-1,8 раз, цинка – на 3,8-40,0 %, а содержание кадмия уменьшилось в 1,2-2,0 раза, кобальта – на 4,5-15,5 %, свинца – на 15-36 % по сравнению с аналогичным и показателями в контрольной группе.

Таблица 3. Концентрация элемента в печени цыплят-бройлеров, мг/кг  
Table 3. Concentration of element in liver of broiler chickens, mg/kg

Название элемента / <i>Element</i>	Групп / <i>Group</i>				
	контроль- ная / <i>Control</i>	I опытная / <i>I group</i>	II опытная / <i>II group</i>	III опытная / <i>III group</i>	IV опытная / <i>IV group</i>
1	2	3	4	5	6
Железо / <i>Iron</i>	29,9±02,06	52,9±3,18	45,1±1,09	62,3±2,58	58,9±3,54
Кобальт / <i>Cobalt</i>	0,09±0,04	0,09±0,01	0,086±0,04	0,079±0,01	0,076±0,01
Марганец / <i>Manganese</i>	0,96±0,09	1,61±0,91	0,93±0,02	1,29±0,49	1,79±0,94
Свинец / <i>Lead</i>	0,33±0,08	0,28±0,05	0,21±0,06	0,26±0,08	0,25±0,01
Кадмий / <i>Cadmium</i>	0,044±0,01	0,031±0,06	0,036±0,01	0,024±0,01	0,022±0,01
Цинк / <i>Zinc</i>	18,3±1,54	23,5±1,82	19,0±1,84	26,9±1,96	22,0±2,07
Медь / <i>Copper</i>	2,52±0,29	3,69±0,94	3,61±0,64	4,6±1,68	3,46±1,58
Никель / <i>Nickel</i>	0,041±0,01	0,042±0,01	0,042±0,13	0,046±0,01	0,041±0,02

### **Обсуждение полученных результатов.**

Многочисленные исследования показали, что печень является одним из органов-мишеней минеральных и ультрадисперсных элементов. Согласно литературных данных, токсичность УДЧ SiO<sub>2</sub> зависит от размера частиц, при этом более мелкие частицы вызывают большее повреждение печени, чем более крупные (Буянкин Н., 2011; Еремин С.В., 2016; Saltiel AR and Olefsky JM, 2017; Мирошников С.А. и др., 2020). Другие опыты говорят о том, что большие (150 нм) ультрадисперсные частицы диоксида кремния не вызывают функциональных и гистологических изменений в жизненно важных органах (Almansour M et al., 2018; Мустафин Р.З. и Мустафина А.С., 2021).

Птицепродукты являются основными источниками белка, энергии, витаминов и минералов. Они содержат широкий спектр микроэлементов, некоторые из которых имеют важное значение, такие как железо, медь, цинк, марганец, в то время как другие обладают токсичным действием (свинец, кадмий и никель (Korish MA and Attia YA et al., 2020; Никулин В.Н. и Мустафина А.С., 2020). Использование УДЧ SiO<sub>2</sub> при выращивании цыплят привело к снижению отложения токсичных металлов (кадмий, свинец, никель) за счёт его сорбционных свойств (Attia YA et al., 2014; Attia YA et al., 2016; Mustafina AS et al., 2021a).

Углеводы, липиды и аминокислоты – три основные группы питательных веществ для любого организма, которые при определённых условиях могут взаимодействовать друг с другом для регулирования различных метаболических процессов, необходимых для поддержания здоровья и жизнедеятельности (Ye Z et al., 2020).

Исследования подтвердили, что ультраразмерные частицы диоксида кремния способны активировать функциональную активность организма и увеличивать интенсивность метаболических процессов печени (Колбин И.А. и Колесников О.Л., 2001; Vasconcellos R et al., 2016), что подтверждается увеличением концентрации печёночных ферментов (АСТ, АЛТ), являющихся важными биомаркерами работы печени (Лихота О.С. и Цикуниб А.Д., 2017). Благодаря особенной химической структуре, УДЧ SiO<sub>2</sub> создаёт заряженные коллоидные системы, обладающие силой притяжения, которые притягивают к себе болезнетворные микробы и вирусы (Меликян М.А. и Давтян В.Г., 2019).

Известно, что на состав жирных кислот мясопродуктов могут влиять различные факторы (возраст, пол, условия выращивания). Доказано, что состав жирных кислот мяса и печени является наследственным признаком (Briggs MA et al., 2017; Onk K et al., 2019). Это позволяет использовать на производстве современные кроссы птицы с заблаговременно благоприятным составом жирных кислот мяса и субпродуктов (Li M et al., 2018; Janiszewski P et al., 2018). Наши исследования показали, что применение в кормлении цыплят-бройлеров УДЧ SiO<sub>2</sub> привело к снижению стеариновой, пальмитиновой и пальмитолеиновой жирных кислот, считающихся токсичными для печени и организма (Yamada K et al., 2015).

Линолевая жирная кислота является предшественником других биологически активных соединений жирнокислотного ряда (Кирко С.Н. и др., 2017). Увеличение содержания олеиновой, линолевой и линоленовой ЖК было отмечено при скармливании УДЧ SiO<sub>2</sub> цыплятам-бройлерам.

### **Заключение.**

Исследования показали, что использование УДЧ SiO<sub>2</sub> в кормлении цыплят-бройлеров в дозировке 300-400 мг/кг корма способствует накоплению в печени заменимых и незаменимых аминокислот, полезных жирных кислот, снижает концентрацию тяжелых металлов, тем самым повышая биологическую и пищевую ценность печени как субпродукта.

### **Список источников**

1. Буянкин Н. Кремнийорганическая добавка для цыплят // Животноводство России. 2011. № 6. С. 21-22. [Buyankin N. Kremniorganicheskaya dobavka dlya tsyplyat. Zhivotnovodstvo Rossii. 2011;6:21-22. (In Russ)].

2. Еремин С.В. Влияние нанобиологической кормовой добавки «Набикат» в рационах цыплят-бройлеров на их продуктивность и гематологические параметры // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 121. С. 2165-2176. [Eremin SV. The effect of nano biological feed supplement "Nabikat" in rations of broiler chickens on their productivity and hematological parameters. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2016;121:2165-2175. (*In Russ*)]. doi: 10.21515/1990-4665-121-137

3. Колбин И.А., Колесников О.Л. Изменение показателей функциональной активности нейтрофильных гранулоцитов периферической крови доноров после инкубации с наночастицами диоксида кремния // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2011. № 20(237). С. 116-119. [Kolbin IA, Kolesnikov OL. Change of indicators of functional activity of neutrophils of peripheric blood of donors after the incubation with nanoparticles the silicon dioxide. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdruvookhranenie, fizicheskaya kul'tura. 2011;20(237):116-119. (*In Russ*)].

4. Кормление сельскохозяйственной птицы: монография / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.М. Околелова, Ш.А. Имангулов. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2004. 375 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. Kormlenie sel'skhozajstvennoj pticy: monografija. Sergiev Posad: VNITIP; 2004:375 p. (*In Russ*)].

5. Лихота О.С., Цикуниб А.Д. Особенности метаболизма и маркеры биохимических нарушений в печени при гепатитах // Наука: комплексные проблемы. 2017. № 1(9). С. 4-11. [Likhota OS, Tsikunib AD. Characteristics of metabolism and markers of biochemical disorders in the liver with hepatitis. Nauka: kompleksnye problemy. 2017;1(9):4-11. (*In Russ*)].

6. Меликян М.А., Давтян В.Г. Кремне-органическая модель человека и рекомендации по восстановлению здоровья [Электронный ресурс]. 2019. <https://vossta.ru/614-2-kremne-organicheskaya-modele-cheloveka-i-rekomendacii-po.html>. [Melikyan MA, Davtyan VG. The silica-organic model of the person and the recommendation on health recovery. [Elektronnyi resurs]. 2019. <https://vossta.ru/614-2-kremne-organicheskaya-modele-cheloveka-i-rekomendacii-po.html>. (*In Russ*)].

7. Мирошников С.А., Сизова Е.А. Наноматериалы в животноводстве (обзор) // Вестник мясного скотоводства. 2017. № 3(99). С.7-22. [Miroshnikov SA, Sizova EA. Nanomaterials in animal husbandry (review). Herald of Beef Cattle Breeding. 2017;99(3):7-22. (*In Russ*)].

8. Мирошников С.А., Мустафина А.С., Губайдуллина И.З. Оценка действия ультрадисперсного оксида кремния на организм цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 1. С. 20-32. [Miroshnikov SA, Mustafina AS, Gubaidullina IZ. Evaluation of action of ultrafine silicon oxide on the body of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(1):20-32. (*In Russ*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-20

9. Мустафин Р.З., Мустафина А.С. Определение рациональной дозы диоксида кремния в кормлении цыплят-бройлеров // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 8-19. [Mustafin RZ, Mustafina AS. Determination of the rational dose of silicon dioxide in the feeding of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(1):8-19. (*In Russ*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-8

10. Никулин В.Н., Мустафина А.С. Биологическое действие наночастиц оксида кремния на организм цыплят-бройлеров // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 64-71. [Nikulin VN, Mustafina AS. Biological effects of silicon oxide nanoparticles on broiler chicken. Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2020;2:64-71. (*In Russ*)]. doi: 10.12737/37342

11. Сравнительная оценка жирнокислотного состава печени крыс при включении в рацион рапсового и пальмового масел / С.Н. Кирко, В.А. Гуринович, Е.П. Лукиенко, А.Г. Мойсеёнок, В.У. Буко // Весці нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя медыцынскіх навук. 2017. № 1. С. 29-37. [Kirko SN, Gurinovich VA, Lukienko EP, Moiseenok AG, Buko VU. Comparison of the liver fatty acids content in rats fed canola and palm oil reach diet. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, medical series. 2017;1:29-37. (*In Russ*)].

12. Юзова В.А., Левицкий А.А., Харлашин П.А. Развитие технологии получения и исследования пористого кремния // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2011. Т. 4 № 1. С. 92-112. [Yuzova VA, Levitsky AA, Harlashin PA. Development technology of creation and research porous silicon. Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2011;4(1):92-112. (*In Russ*)].
13. Almansour M, Alarifi S, Jarrar B. In vivo investigation on the chronic hepatotoxicity induced by intraperitoneal administration of 10-nm silicon dioxide nanoparticles. *Int J Nanomedicine*. 2018;13:2685-2696. doi: 10.2147/IJN.S162847
14. Ao T, Macalintal LM, Paul MA, Pescatore AJ, Cantor AH, Ford MJ, et al. Effects of supplementing microalgae in laying hen diets on productive performance, fatty-acid profile, and oxidative stability of eggs. *J Appl Poult Res*. 2015;24(3):394-400. doi: 10.3382/japr/pfv042
15. Attia YA, Al-Harathi MA, Korish MA, Shiboob MM. Evaluation of the broiler's meat quality in the retail market: Effects of type and source of carcasses. *Rev Mex Cienc Pec* 2016;7(3):321-339. doi: 10.22319/rmcp.v7i3.4213
16. Attia YA, Al-Harathi MA, Shiboob MM. Evaluation of quality and nutrient contents of table eggs from different sources in the retail market. *Ital J Anim Sci*. 2014;13(2):3294. doi: 10.4081/ijas.2014.3294
17. Briggs MA, Petersen KS, Kris-Etherton PM Saturated fatty acids and cardiovascular disease: replacements for saturated fat to reduce cardiovascular risk. *Healthcare*. 2017;5(2):29. doi: 10.3390/healthcare5020029
18. Cevenini A, Celia C, Orrù S, Samataro D, Raia M, Mollo V, Locatelli M, Imperlini E, Peluso N, Peltrini R, De Rosa E, Parodi A, Del Vecchio L, Di Marzio L, Fresta M, Netti PA, Shen H, Liu X, Tasciotti E, Salvatore F. Liposome-embedding silicon microparticle for oxaliplatin delivery in tumor chemotherapy. *Pharmaceutics*. 2020;12(6):559. doi: 10.3390/pharmaceutics12060559
19. David I, Lau X, Flores M, Trieu J, Gehrig S, Chee A, et al. Dysfunctional muscle and liver glycogen metabolism in mdx dystrophic mice. *PLoS One*. 2014;9(3):e91514. doi: 10.1371/journal.pone.0091514
20. Fan W, Liu W, Liu H, Meng Q, Xu Y, Guo Y, Wang B, Zhou Z, Hou S. Dynamic accumulation of fatty acids in duck (*Anas platyrhynchos*) breast muscle and its correlations with gene expression. *BMC Genomics*. 2020;21(1):58. doi: 10.1186/s12864-020-6482-7
21. Janiszewski P, Murawska D, Hanzal V, Gesek M, Michalik D, Zawacka M Carcass characteristics, meat quality, and fatty acid composition of wild-living mallards (*Anas platyrhynchos* L.). *Poult Sci*. 2018;97(2):709-715. doi: 10.3382/ps/pex335
22. Julian RJ. Production and growth related disorders and other metabolic diseases of poultry-a review. *Vet J*. 2005;169:350-69. doi: 10.1016/j.tvjl.2004.04.015
23. Korish MA, Attia YA. Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens. *Animals (Basel)*. 2020;10(4):727. doi: 10.3390/ani10040727
24. Li M, Li X, Lu Y. Obstructive sleep apnea syndrome and metabolic diseases. *Endocrinology*. 2018;159:2670-5. doi: 10.1210/en.2018-00248
25. Mustafina AS, Sizova EA, Kholodilina TN, Mustafin RZ, Klimova TA. Live weight and digestibility of feed nutrients when using amino acids and silicon in the diet of broilers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021) 17th -18th June 2021, Volgograd, Russian Federation. Bristol, England: IOP Publishing; 2021a;848:012064. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012064
26. Mustafina AS, Sizova EA, Mustafin RZ, Ivanishcheva AP, Rakhmatullin SG. Effect of different doses of silicon dioxide on the concentration of organic acids in the broilers liver. IOP Conference Se-



ries: Earth and Environmental Science: Innovative Development of Agrarian-and-Food Technologies. Bristol, England: IOP Publishing; 2021;839:032008. doi: 10.1088/1755-1315/839/3/032008

27. Onk K, Yalcintan H, Sari M, Adiguzel I, Yakan A, Ekiz B. Effects of genotype and sex on technological properties and fatty acid composition of duck meat. *Poultry Science*. 2019;98(1):491-499. doi: 10.3382/ps/pey355

28. Saltiel AR, Olefsky JM. Inflammatory mechanisms linking obesity and metabolic disease. *J Clin Invest*. 2017;127(1):1-4. doi: 10.1172/JCI92035

29. Van Immerseel F, Eeckhaut V, Moore R, Choct M, Ducatelle R. Beneficial microbial signals from alternative feed ingredients: a way to improve sustainability of broiler production? *Microb Biotechnol*. 2017;10(5):1008-11. doi: 10.1111/1751-7915.12794

30. Vasconcellos R, Alvarenga EC, Parreira RC, Lima SS, Resende RR. Exploring the cell signaling in hepatocyte differentiation. *Cell Signal*. 2016; 28(11):1773-88. doi: 10.1016/j.cellsig.2016.08.011

31. Yamada K, Mizukoshi E, Sunagozaka H, et al. Characteristics of hepatic fatty acid compositions in patients with nonalcoholic steatohepatitis. *Liver Int*. 2015;35(2):582-90. doi: 10.1111/liv.12685

32. Ye Z, Wang S, Zhang C, Zhao Y. Coordinated modulation of energy metabolism and inflammation by branched-chain amino acids and fatty acids. *Front Endocrinol*. 2020;11:617. doi: 10.3389/fendo.2020.00617

33. Zaefarian F, Abdollahi MR, Cowieson A, Ravindran V. Avian liver: the forgotten organ. *Animals*. 2019;9(2):63. doi: 10.3390/ani9020063

## References

1. Buyankin N. Organo-silicon supplement for chickens. *Animal Husbandry of Russia*. 2011;6:21-22.
2. Eremin SV. The effect of nano biological feed supplement "Nabikat" in rations of broiler chickens on their productivity and hematological parameters. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2016;121:2165-2175. doi: 10.21515/1990-4665-121-137
3. Kolbin IA, Kolesnikov OL. Change of indicators of functional activity of neutrophils of peripheral blood of donors after the incubation with nanoparticles the silicon dioxide. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Education, healthcare, physical culture* 2011;20(237):116-119.
4. Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. *Poultry feeding: monograph*. Sergiev Posad: VNITIP; 2004:375 p.
5. Likhota OS, Tsikunib AD. Characteristics of metabolism and markers of biochemical disorders in the liver with hepatitis. *Science: complex problems*. 2017;1(9):4-11.
6. Melikyan MA, Davtyan VG. The silica-organic model of the person and the recommendation on health recovery. [Internet]. 2019. Available by: <https://vossta.ru/614-2-kremne-organicheskaya-modele-cheloveka-i-rekomendacii-po.html>.
7. Miroshnikov SA, Sizova EA. Nanomaterials in animal husbandry (review). *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2017;99(3):7-22.
8. Miroshnikov SA, Mustafina AS, Gubaidullina IZ. Evaluation of action of ultrafine silicon oxide on the body of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2020;103(1):20-32. doi: 10.33284/2658-3135-103-1-20
9. Mustafin RZ, Mustafina AS. Determination of the rational dose of silicon dioxide in the feeding of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):8-19. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-8
10. Nikulin VN, Mustafina AS. Biological effects of silicon oxide nanoparticles on broiler chicken. *Bulletin Samara State Agricultural Academy*. 2020;2:64-71. doi: 10.12737/37342
11. Kirko SN, Gurinovich VA, Lukienko EP, Moiseenok AG, Buko VU. Comparison of the liver fatty acids content in rats fed canola and palm oil reach diet. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, medical series*. 2017;1:29-37.

12. Yuzova VA, Levitsky AA, Harlashin PA. Development technology of creation and research porous silicon. *Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*. 2011;4(1):92-112.
13. Almansour M, Alarifi S, Jarrar B. In vivo investigation on the chronic hepatotoxicity induced by intraperitoneal administration of 10-nm silicon dioxide nanoparticles. *Int J Nanomedicine*. 2018;13:2685-2696. doi: 10.2147/IJN.S162847
14. Ao T, Macalintal LM, Paul MA, Pescatore AJ, Cantor AH, Ford MJ, et al. Effects of supplementing microalgae in laying hen diets on productive performance, fatty-acid profile, and oxidative stability of eggs. *J Appl Poult Res*. 2015;24(3):394-400. doi: 10.3382/japr/pfv042
15. Attia YA, Al-Harhi MA, Korish MA, Shiboob MM. Evaluation of the broiler's meat quality in the retail market: Effects of type and source of carcasses. *Rev Mex Cienc Pec*. 2016;7(3):321-339. doi: 10.22319/rmcp.v7i3.4213
16. Attia YA, Al-Harhi MA, Shiboob MM. Evaluation of quality and nutrient contents of table eggs from different sources in the retail market. *Ital. J. Anim. Sci*. 2014;13(2):3294. doi: 10.4081/ijas.2014.3294
17. Briggs MA, Petersen KS, Kris-Etherton PM Saturated fatty acids and cardiovascular disease: replacements for saturated fat to reduce cardiovascular risk. *Healthcare*. 2017;5(2):29. doi: 10.3390/healthcare5020029
18. Cevenini A, Celia C, Orrù S, Samataro D, Raia M, Mollo V, Locatelli M, Imperlini E, Peluso N, Peltrini R, De Rosa E, Parodi A, Del Vecchio L, Di Marzio L, Fresta M, Netti PA, Shen H, Liu X, Tasciotti E, Salvatore F. Liposome-embedding silicon microparticle for oxaliplatin delivery in tumor chemotherapy. *Pharmaceutics*. 2020;12(6):559. doi: 10.3390/pharmaceutics12060559
19. David I, Lau X, Flores M, Trieu J, Gehrig S, Chee A, et al. Dysfunctional muscle and liver glycogen metabolism in mdx dystrophic mice. *PLoS One*. 2014;9(3):e91514. doi: 10.1371/journal.pone.0091514
20. Fan W, Liu W, Liu H, Meng Q, Xu Y, Guo Y, Wang B, Zhou Z, Hou S. Dynamic accumulation of fatty acids in duck (*Anas platyrhynchos*) breast muscle and its correlations with gene expression. *BMC Genomics*. 2020;21(1):58. doi: 10.1186/s12864-020-6482-7
21. Janiszewski P, Murawska D, Hanzal V, Gesek M, Michalik D, Zawacka M Carcass characteristics, meat quality, and fatty acid composition of wild-living mallards (*Anas platyrhynchos* L.). *Poult Sci*. 2018;97(2):709-715. doi: 10.3382/ps/pex335
22. Julian RJ. Production and growth related disorders and other metabolic diseases of poultry-a review. *Vet J*. 2005;169:350-69. doi: 10.1016/j.tvjl.2004.04.015
23. Korish MA, Attia YA. Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens. *Animals (Basel)*. 2020;10(4):727. doi: 10.3390/ani10040727
24. Li M, Li X, Lu Y. Obstructive sleep apnea syndrome and metabolic diseases. *Endocrinology*. 2018;159:2670-5. doi: 10.1210/en.2018-00248
25. Mustafina AS, Sizova EA, Kholodilina TN, Mustafin RZ, Klimova TA. Live weight and digestibility of feed nutrients when using amino acids and silicon in the diet of broilers. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021) 17th -18th June 2021, Volgograd, Russian Federation. Bristol, England: IOP Publishing; 2021a;848:012064. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012064
26. Mustafina AS, Sizova EA, Mustafin RZ, Ivanishcheva AP, Rakhmatullin SG. Effect of different doses of silicon dioxide on the concentration of organic acids in the broilers liver. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Innovative Development of Agrarian-and-Food Technologies. Bristol, England: IOP Publishing; 2021b;839:032008. doi: 10.1088/1755-1315/839/3/032008

27. Onk K, Yalcintan H, Sari M, Adiguzel I, Yakan A, Ekiz B. Effects of genotype and sex on technological properties and fatty acid composition of duck meat. *Poultry Science*. 2019;98(1):491-499. doi: 10.3382/ps/pey355
28. Saltiel AR, Olefsky JM. Inflammatory mechanisms linking obesity and metabolic disease. *J Clin Invest*. 2017;127(1):1-4. doi: 10.1172/JCI92035
29. Van Immerseel F, Eeckhaut V, Moore R, Choct M, Ducatelle R. Beneficial microbial signals from alternative feed ingredients: a way to improve sustainability of broiler production? *Microb Biotechnol*. 2017;10(5):1008-11. doi: 10.1111/1751-7915.12794
30. Vasconcellos R, Alvarenga EC, Parreira RC, Lima SS, Resende RR. Exploring the cell signaling in hepatocyte differentiation. *Cell Signal*. 2016; 28(11):1773-88. doi: 10.1016/j.cellsig.2016.08.011
31. Yamada K, Mizukoshi E, Sunagozaka H, et al. Characteristics of hepatic fatty acid compositions in patients with nonalcoholic steatohepatitis. *Liver Int*. 2015;35(2):582-90. doi: 10.1111/liv.12685
32. Ye Z, Wang S, Zhang C, Zhao Y. Coordinated modulation of energy metabolism and inflammation by branched-chain amino acids and fatty acids. *Front Endocrinol*. 2020;11:617. doi: 10.3389/fendo.2020.00617
33. Zaefarian F, Abdollahi MR, Cowieson A, Ravindran V. Avian liver: the forgotten organ. *Animals*. 2019;9(2):63. doi: 10.3390/ani9020063

**Информация об авторах:**

**Александра Сергеевна Мустафина**, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел. 8-912-340-21-10.

**Рамис Зуфарович Мустафин**, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии производства и переработки продукции животноводства, Оренбургский государственный университет, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18 (корпус № 1), тел.: 8-987-866-299.

**Information about authors:**

**Aleksandra S Mustafina**, Cand. Sci (Agriculture), Junior Researcher of the Testing Center of the Central Collective Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 January St., Orenburg, Russia, 460000, Orenburg, tel. 8-912-340-21-10.

**Ramis Z Mustafin**, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Production Technology and Processing of Livestock Products, Orenburg State University, 18 Chelyuskintsev St., (building No. 1), Orenburg, 460014, tel.: 8-987-866-299.

Статья поступила в редакцию 01.03.2022; одобрена после рецензирования 18.03.2022; принята к публикации 21.03.2022.

The article was submitted 01.03.2022; approved after reviewing 18.03.2022; accepted for publication 21.03.2022.