

УДК 636.5:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-103-3-8

**Влияние ультрадисперсного диоксида кремния на аминокислотный состав мяса и печени цыплят-бройлеров**

*А.С. Мустафина*

*Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)*

**Аннотация.** Уровень мирового производства мясопродуктов во многом зависит от достижений в области генетики, селекции, кормления, технологии содержания и ветеринарной защиты. Но в ходе этого прогресса мы зачастую забываем про качество получаемой продукции, от которого напрямую зависит здоровье всего человечества.

В ходе исследования мы хотели установить влияние ультрадисперсного диоксида кремния на аминокислотный состав мяса цыплят-бройлеров. Для этого были сформированы методом аналогов 5 групп бройлеров кросса «Арбор-Айкрес» недельного возраста (n=30).

В ходе эксперимента цыплята контрольной группы получали основной рацион, а птице опытных групп дополнительно вводили ультрадисперсный диоксид кремния в различной дозировке, поскольку УДЧ SiO<sub>2</sub> вызывает определённый интерес и его применения в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы обосновано, так как основополагающая функция кремния – это участие практически во всех реакциях промежуточного обмена в качестве элемента связи, который обеспечивает нормальное течение жизненно важных механизмов всего организма.

В ходе проведённого исследования было установлено, что УДЧ SiO<sub>2</sub> способствует увеличению содержания лизина в мясе птицы опытных групп на 0,01-0,14 %, лейцина и изолейцина – на 0,12-0,71 %, триптофана – на 9,88-24,9 мг%, фенилаланина – 0,12-0,75 %, серина – 0,19-0,34 %, аланина – 0,07-0,20 % при сравнении с аналогичными значениями контрольной группы.

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры, кормление, ультрадисперсный кремний, мясо птицы, аминокислотный состав.

UDC 636.5:577.17

**Ultrafine silica dioxide alters amino acid composition of broiler meat and liver**

*Alexandra S Mustafina*

*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)*

**Summary.** The level of world production of meat products largely depends on advances in genetics, breeding, feeding, keeping technology and veterinary protection. But in the course of this progress, we often forget about the quality of products obtained the health of all mankind directly depends of.

In the course of the study, we wanted to establish the effect of ultrafine silica dioxide on the amino acid composition of broiler meat. For this purpose, 5 groups of 1-week broilers of the Arbor Acres cross were formed by the method of analogs (n = 30).

In the course of the experiment, chickens from the control group received main diet, and the birds from the experimental groups were additionally injected with ultrafine silicon dioxide in various dosages, since SiO<sub>2</sub> UFP is of certain interest and its use in feeding of farm animals and poultry is justified, since the fundamental function of silicon is practically participation in all reactions of intermediate exchange as a communication element, which ensures the normal course of vital mechanisms of the whole organism.

In the course of the study, it was found that the SiO<sub>2</sub> UFP promotes an increase in the content of lysine in poultry meat of the experimental groups by 0,01-0,14%, leucine and isoleucine - by 0,12-0,71%, tryptophan - by 9,88-24,9 mg%, phenylalanine - 0,12-0,75%, serine - 0,19-0,34%, alanine - 0,07-0,20% when compared with similar values in the control group.

**Key words:** broiler chickens, feeding, ultrafine silicon, poultry meat, amino acid composition.

**Введение.**

Птицеводство – пожалуй, самая динамично развивающаяся отрасль сельского хозяйства, так как она обеспечивает всё население нашей страны не только ценными продуктами питания (мясо, субпродукты, яйцо), но и поставляет для промышленности сырьё для переработки: пух, перо, помёт и др. Увеличение производства продукции птицеводства и высокое качество были и остаются одной из главных задач сельскохозяйственного комплекса. Решение приоритетных задач аграрного комплекса основывается на внедрении в производство новейших достижений науки в области содержания и кормления животных и птицы.

Полноценное питание – главенствующий фактор, который определяет здоровье мирового населения. Основное направление государственной политики заключается в разработке высококачественных и безопасных пищевых продуктов. Для увеличения объёмов промышленного производства мясопродуктов из птицы необходимо более глубокое изучение свойств различных тканей мяса кур, цыплят и цыплят-бройлеров (Махонина В.Н., 2009).

Сбалансированная питательная ценность мяса птицы – это возможность удовлетворять все потребности человеческого организма в процессе его жизнедеятельности. Биологическая ценность мяса характеризуется содержанием в нём питательных веществ (незаменимые аминокислоты, ненасыщенные жирные кислоты, биологические активные и минеральные вещества), их соотношением и степенью усвоения организмом человека. Мясо птицы представляет собой высокоценный продукт, имеющий значительный удельный вес в питании населения. В питательном отношении куриное мясо является источником белка с высокой биологической ценностью, особенно по сравнению с растительными белками и содержанием их микроэлементов, таких как витамин А, тиамин, железо, фосфор и никотиновая кислота (Koblitz MGB, 2011). Кроме того, из-за низкой энергетической ценности, пониженного содержания жира, а также из-за более высокой доли полиненасыщенных жирных кислот куриное мясо считается здоровой пищей и используется в здоровом питании чаще по сравнению с другими видами мяса (Riovanto R et al., 2012). Считается, что генетический прогресс усилил нагрузку на растущую птицу и привёл к биохимическим изменениям мышечной ткани, тем самым ослабив некоторые качества мяса.

С целью повышения мясной продуктивности сельскохозяйственной птицы учёные всего мира ведут работы по совершенствованию селекционных качеств и технологий кормления. Однако эффективность промышленного производства мяса птицы зависит не только от усиления и наследования породных качеств, но и полноценного сбалансированного кормления, в том числе и применения новых кормовых добавок. Всё это в целом и влияет на продолжительность откорма, среднесуточные и абсолютные приросты живой массы, биологическую ценность и питательность производимого в промышленных условиях мяса птицы.

**Цель исследования.**

Изучить влияние ультрадисперсного диоксида кремния на аминокислотный состав мяса и печени цыплят-бройлеров.

**Объект исследования.** Цыплята-бройлеры кросса «Арбор-Айкрес».

Обслуживание животных и экспериментальные исследования будут выполнены в соответствии с инструкциями Russian Regulations, 1987 (Order No.755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) и «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1966)». При выполнении исследований были приняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

**Схема эксперимента.** При проведении исследования было отобрано 150 голов здоровых цыплят-бройлеров и сформированы группы по 30 цыплят по принципу аналогов методом случайной выборки.

Во время эксперимента птицу содержали в клетках КУН-05 площадью 4050 см<sup>2</sup> (90×45×45 см) и маркировали пластиковыми ножными бирками. Температурный и световой режимы, влажность воздуха, плотность посадки, фронт кормления и поения соответствовали рекомендациям ВНИТИП (Фисинин В.И. и др., 2004).

Кормление птицы осуществлялось 2 раза в сутки сухими сбалансированными комбикормами с параметрами питательности, соответствующими рекомендуемым нормам ВНИТИП (Егорова И.А. и др., 1992). В период учётного периода, который составлял 28 суток, опытной птице вводили ультрадисперсные частицы диоксида кремния (УДЧ SiO<sub>2</sub>) после диспергирования (45 мин) в физиологическом растворе с помощью УЗДН-2Т (35 кГц, 300 Вт, 10 мкА). Отличие контрольной группы от опытных заключалось в том, что цыплятам опытных групп дополнительно к основному рациону скармливали УДЧ SiO<sub>2</sub>: 1 опытной группе – 100 мг/кг, 2 опытной – 200 мг/кг, 3 опытной – 300 мг/кг, 4 опытной – 400 мг/кг.

Отбор проб проводился на 42 сутки. При контрольном убое были сформированы средние пробы мякоти и печени исследуемых цыплят. Аминокислотный состав тканей и печени подопытной птицы определялся методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105».

**Оборудование и технические средства.** Исследования проводили в Испытательном центре ЦКП ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.15) по стандартизированным методикам. Система «Капель-105» (ООО «Люмэкс-маркетинг», Россия), диспергатор УЗДН-2Т («НПП Академприбор», Россия)

**Статистическая обработка.** Статистическую обработку полученных данных проводили 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). Достоверными считали различия при P≤0,05; P≤0,01; P≤0,001.

### Результаты исследования

В ходе проведённого анализа данных было установлено, что содержание лизина в мясе птицы опытных групп увеличилось на 0,01-0,14 %, лейцина и изолейцина – на 0,12-0,71 %, триптофана – на 9,88-24,9 мг%, фенилаланина – 0,12-0,75 %, серина – 0,19-0,34 %, аланина – 0,07-0,20 % при сравнении с контрольной группой (табл. 1).

Таблица 1. Аминокислотный состав мяса подопытных цыплят-бройлеров (M±m), %  
Table 1. Amino acid composition of the meat of experimental broiler chickens (M±m), %

Наименование показателей / Name of indicators	Группа / Group				
	контрольная/ control	1 опытная/ 1 experimental	2 опытная/ 2 experimental	3 опытная/ 3 experimental	4 опытная/ 4 experimental
Аргинин / Arginine	5,54±0,58	5,25±0,12	5,01±0,08	4,74±0,14	4,91±0,16
Лизин / Lysine	7,16±0,05	7,17±0,02	7,18±0,10	7,30±0,09	7,28±0,16
Тирозин / Tyrosine	2,90±0,02	2,81±0,08	2,58±0,06*	2,63±0,12	2,64±0,05*
Фенилаланин/ Phenylalanine	4,28±0,04	4,65±0,06**	4,40±0,06	5,03±0,09**	5,01±0,09**
Гистидин / Histidine	2,60±0,01	2,63±0,02	2,60±0,12	2,63±0,10	3,62±1,06
Лейцин+Изолейцин/ Leucine+Isoleucine	9,69±0,02	9,81±0,12	9,82±0,08	10,40±0,35*	9,89±0,07
Метионин / Methionine	2,27±0,04	2,22±0,06	2,24±0,06	2,46±0,12	2,51±0,10
Валин / Valine	4,00±0,24	3,92±0,25	3,84±0,12	3,63±0,05	3,61±0,09
Пролин / Proline	3,22±0,13	3,16±0,10	3,18±0,10	3,03±0,16	2,91±0,07
Треонин / Threonine	3,79±0,02	3,70±0,03*	3,75±0,05	3,86±0,09	3,85±0,14
Серин / Serine	3,01±0,58	3,35±0,12	3,28±0,15	3,26±0,12	3,22±0,15
Аланин / Alanin	5,67±0,05	5,74±0,06	5,76±0,25	5,83±0,17	5,87±0,19
Глицин / Glycine	3,63±0,02	3,60±0,12	3,60±0,06	3,71±0,12	3,72±0,03
Триптофан / Tryptophan	360,97±1,00	370,85±6,10	374,15±2,7	385,87±1,59**	382,93±1,12**
Оксипролин / Oxypoline	61,54±0,40	59,92±0,52*	59,83±1,16	58,79±0,87	59,23±1,03

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

Note: \* – P≤0.05; \*\* – P≤0.01; \*\*\* – P≤0.001 comparison with control group

Содержание аргинина в опытных образцах было ниже, чем в контрольном на 0,29-0,80 %, тирозина – на 0,09-0,32 %, валина – на 0,08-0,39 %, пролина – на 0,04-0,31 % и оксипролина – на 1,71-2,75 мг%. При этом величина снижения содержания данных аминокислот в мясе прямо пропорциональна дозе исследуемого препарата.

В мясе цыплят-бройлеров 1 и 2 опытных групп количество метионина снизилось на 0,03-0,05 %, треонина – на 0,04-0,09 %, глицина – на 0,03 % по сравнению с контрольной группой, а в аналогичных образцах 3 и 4 опытных групп, наоборот, содержание этих аминокислот (АМК) увеличилось на 0,19-0,24 %, 0,06-0,07 %, 0,08-0,09 % соответственно. Причём меньшая доза УДЧ SiO<sub>2</sub> (100-200 мг/кг) снижает концентрацию данных аминокислот, а более высокая, наоборот, увеличивает содержание метионина, треонина и глицина в мясе цыплят-бройлеров.

При анализе аминокислотного состава печени цыплят-бройлеров установлено, что содержание аргинина в печени птицы 1-4 опытных групп было выше контрольных значений на 0,45-0,70 % ( $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$ ) соответственно, лизина выше в печени птицы 2-4 опытных группах на 0,75-1,60 % ( $P \leq 0,01$ ,  $P \leq 0,001$ ) соответственно, тирозина больше в печени птицы 3 и 4 опытных групп на 0,16-0,50 %, гистидина больше в образцах печени цыплят-бройлеров 2, 3, и 4 опытных групп на 0,05-0,17 % (табл. 2).

Таблица 2. Аминокислотный состав печени подопытных цыплят-бройлеров ( $M \pm m$ ), %  
Table 2. Amino acid composition of the liver of experimental broiler chickens ( $M \pm m$ ), %

Наименование показателей / Name of indicators	Группа / Group				
	1 опытная/ 1 experimental	2 опытная/ 2 experimental	3 опытная/ 3 experimental	4 опытная/ 4 experimental	1 опытная/ 1 experimental
Аргинин / Arginine	3,20±0,06	3,82±0,06**	3,65±0,03**	3,90±0,06**	3,87±0,04***
Лизин / Lysine	4,10±0,03	3,16±0,03***	4,85±0,09**	5,36±0,06***	5,70±0,06***
Тирозин / Tyrosine	2,84±0,02	1,92±0,04***	2,84±0,08	3,00±0,12	3,34±0,02***
Фенилаланин/ Phenylalanine	3,57±0,06	2,40±0,23**	3,45±0,03	3,80±0,03*	4,10±0,06**
Гистидин / Histidine	1,90±0,05	1,30±0,09**	1,95±0,04	1,95±0,03	2,07±0,04
Лейцин+Изолейцин/ Leucine+Isoleucine	9,30±0,17	6,90±0,06***	9,10±0,06	9,60±0,09	10,90±0,03***
Метионин / Methionine	2,40±0,23	1,66±0,03*	2,01±0,12	1,94±0,03	2,10±0,03
Валин / Valine	4,70±0,09	3,20±0,12***	4,10±0,06**	4,80±0,35	4,83±0,05
Пролин / Proline	3,87±0,12	2,90±0,06**	3,82±0,01	4,00±0,12	4,10±0,03
Треонин / Threonine	3,73±0,01	2,65±0,09***	3,52±0,04**	3,86±0,12	4,20±0,05***
Серин / Serine	3,20±0,06	2,20±0,12**	3,00±0,09	3,30±0,09	3,60±0,05**
Аланин / Alanin	4,74±0,12	3,30±0,06***	4,40±0,09	4,81±0,09	5,64±0,06**
Глицин / Glycine	3,55±0,09	2,64±0,06**	3,30±0,06	3,68±0,05	4,46±0,12**

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

Note: \* –  $P \leq 0,05$ , \*\* –  $P \leq 0,01$ , \*\*\* –  $P \leq 0,001$  comparison with control group

Содержание метионина в печени цыплят-бройлеров опытных групп ниже контрольных значений на 0,30-0,74 %. Содержание аланина выше в печени цыплят-бройлеров 3 и 4 опытных групп на 0,07-0,09 % по сравнению с контрольным значением, а в 1 и 2 опытных группах – ниже на 0,34-1,44 %.

Содержание незаменимых аминокислот, таких как фенилаланин, лейцин и изолейцин, валин, треонин выше в печени цыплят-бройлеров 3 и 4 опытных групп на 0,23-0,53 %; 0,30-1,60 %; 0,10-0,13 %; 0,13-0,47 % соответственно, а в печени цыплят-бройлеров 1 и 2 опытных групп наблюдается их снижение на 0,12-1,17 %, 0,20-2,40 %, 0,60-1,50 % и 0,21-1,08 % соответственно.

Аналогичная картина просматривается и по пролину, серину и глицину: в группах, где доза скармливаемого препарата была выше, отмечено увеличение данных аминокислот по сравнению со значениями контрольной группы, а в группах, где исследовалась меньшая дозировка (1 и 2 опытная группы), отмечено снижение данных аминокислот.

### **Обсуждение полученных результатов**

Потребность в минеральных веществах для цыплят-бройлеров сложна, потому что почти все биохимические процессы зависят от баланса микроэлементов. И хоть их необходимое количество определяется микрограммами, но роль этих нутриентов огромна. В частности, от микроэлементов зависят качественный процесс обмена веществ, синтезирование ферментов, гормонов, правильное развитие и рост костной ткани (Мирошников С.А. и др., 2020).

Рассматриваемые аминокислоты являются строительными блоками белков и дополнительно используются в качестве источника энергии. Они необходимы для синтеза самых разнообразных соединений. Живые организмы нуждаются в ежедневных поставках белка, включая достаточное количество незаменимых аминокислот, которые не могут синтезироваться эндогенно (Boye J et al., 2012). Помимо того что аминокислоты являются «строительными блоками» белка, они также участвуют во множестве функциональных ролей, которые напрямую не связаны с отложением и ростом скелетного белка (Wu G, 2014).

В ходе эксперимента было установлено, что дозы 300-400 мг/кг УДЧ SiO<sub>2</sub> оказывают положительное действие на накопление в мясе цыплят-бройлеров таких аминокислот, как лизин, фенилаланин, лейцин, изолейцин, треонин, серин, аланин и глицин.

Лизин участвует в синтезе, формировании коллагена и восстановлении тканей, поддерживает уровень энергии, улучшает усвоение кальция из крови и транспорт его в костную ткань, участвует в синтезе антител, гормонов, ферментов и таким образом способствует противовирусной защите организма (Selle PH et al., 2020).

Лейцин необходим для формирования скелетных мышц, но когда плазменный и внутриклеточный уровни лейцина превышают минимум, необходимый для синтеза белка, тогда метаболическая роль этой аминокислоты изменяется. Например, было показано, что высокие уровни лейцина активируют мишень для сигнальных путей рапамицина в скелетных мышцах новорождённых цыплят (Duan Y et al., 2015), способствуют синтезу белка в скелетных мышцах и подавляют катаболизм белка (Shao D et al., 2018). Кроме того, было показано, что лейцин уменьшает отложение жира у мышей, проявляя регулируемую роль. Интересно, что существуют взаимодействия между лейцином и глюкозой, и статус глюкозы может определять, используется ли лейцин в синтезе белка или для производства энергии (Yoon I et al., 2020).

Треонин – одна из незаменимых аминокислот для организма сельскохозяйственной птицы, которая способствует поддержанию нормального белкового обмена в организме, и участвует в синтезе коллагена и эластина, помогает работе печени и участвует в обмене жиров в комбинации с аспартовой кислотой и метионином (Selle PH et al., 2020).

Однако треонин является основной аминокислотой в эндогенных потоках подвздошной кишки у цыплят-бройлеров за счёт быстрой рециркуляции треонина в слизистую оболочку кишечника для синтеза эндогенных белков. Эта аминокислота стимулирует иммунитет, так как способствует продукции антител. Треонин является важной составляющей в синтезе пуринов, которые, в свою очередь, разлагают мочевину, побочный продукт синтеза белка (Ravindran V and Hendriks WH, 2004).

Метионин может необратимо превращаться в цистеин, а серосодержащие аминокислоты необходимы для формирования белка скелетных мышц и оперения (Mastrototaro L et al., 2016). Метионин также является функциональной аминокислотой, поскольку участвует в донорстве метила и является предшественником карнитина и глутатиона для противодействия окислительному стрессу. Кроме того, метионин и цистеин положительно влияют на иммунные и воспалительные реакции у домашней птицы (Selle PH et al., 2020).

Свободные аминокислоты могут влиять на вкус, аромат мяса при хранении (Jo C et al., 2012). Некоторые аминокислоты, такие как пролин, были в значительной степени связаны с органолептическими и физико-химическими свойствами мяса, такими как нежность, сочность. Серин, треонин, глицин, аланин определяют сладкий вкус, тогда как изолейцин, лейцин, валил, метионин, фенилаланин, гистидин, аргинин и пролин были связаны с горьким вкусом мяса (Sforza S et al., 2001).

Заменимые АМК регулируют иммунные ответы, включая экспрессию Т-клеточных рецепторов, пролиферацию лимфоцитов, производство цитокинов и антител, поляризацию макрофагов, уничтожение патогенов супероксидным анионом и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, участвуют в модуляции кишечной микробиоты. Аргинин и пролин необходимы для нормального функционирования врождённой иммунной системы посредством синтеза NO и активных форм кислорода, антимикробной активности и секреции гормонов, которые регулируют метаболизм и активность иммуноцитов (Hou Y et al., 2015).

### **Вывод**

В ходе проведённого эксперимента нами было установлено, что использование ультрадисперсного диоксида кремния в кормлении цыплят-бройлеров в дозировке 300-400 мг/кг корма улучшает биологическую ценность мяса, которая обусловлена составом его белка, содержащего все незаменимые аминокислоты в оптимальном соотношении для усвоения организмом человека.

Таким образом, использование ультрадисперсного диоксида кремния в кормлении цыплят-бройлеров не оказывает существенного ростостимулирующего действия на продуктивность цыплят-бройлеров, но значительно улучшает морфологические и биохимические показатели крови подопытной птицы, а также биологическую ценность мяса птицы.

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

### Литература

1. Кормление сельскохозяйственной птицы: монография / В.И. Фисинин, И.А. Егоров, Т.М. Околелова, Ш.А. Имангулов. Сергиев Посад, 2004. 375 с. [Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. Kormlenie sel'skhozajstvennoj pticy: monografiya. Sergiev Posad; 2004:375 p. (*In Russ*)].
2. Махонина В.Н. Изучение объективных индексов качества мяса птицы для определения его сортности // Птица и птицепродукты. 2009. № 3. С. 52-57. [Makhonina VN. Izuchenie ob"ektivnykh indeksov kachestva myasa ptitsy dlya opredeleniya ego sortnosti. Poultry & Chicken Products. 2009;3:52-57. (*In Russ*)].
3. Методические рекомендации по проведению научных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы / И.А. Егоров, Т.М. Околелова, В.И. Ермакова и др. / под общ. ред. В.И. Фисинина, И.А. Егорова. Сергиев Посад: ВНИТИП, 1992. 24 с. [Egorov IA, Okolelova TM, Ermakova VI et al. Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu nauchnykh issledovaniy po kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy. Fisinin VI, Egorov IA, editors. Sergiev Posad: VNITIP; 1992:24 p. (*In Russ*)].
4. 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

5. Boye J, Wijesinha-Bettoni R, Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *Br J Nutr.* 2012;108(S2):S183-S211. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114512002309>
6. Duan Y, Li F, Liu H, Li Y, Liu Y et al. Nutritional and regulatory roles of leucine in muscle growth and fat reduction. *Front Biosci (Landmark Ed).* 2015; 20:796-813. doi: 10.2741/4338
7. Hou Y, Yin Y, Wu G. Dietary essentiality of “nutritionally non-essential amino acids” for animals and humans. *Exp Biol Med (Maywood).* 2015;240(8):997-1007. doi: <https://doi.org/10.1177/1535370215587913>
8. Jo C, Cho SH, Chang J, Nam KC Keys to production and processing of Hanwoo beef: a perspective of tradition and science. *Anim Front.* 2012;2(4):32-38.
9. Koblitz MGB. *Materias-primas alimenticias: composicao e controle de qualidade (Raw materials for food: composition and quality control).* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2011:314 p.
10. Mastrototaro L, Sponder G, Saremi B, Aschenbach JR. Gastrointestinal methionine shuttle: Priority handling of precious goods. *IUBMB Life.* 2016;68(12):924-934. doi: <https://doi.org/10.1002/iub.1571>
11. Ravindran V, Hendriks WH. Endogenous amino acid flows at the terminal ileum of broilers, layers and adult roosters. *Anim. Sci.* 2004;79(2):265-271. doi: 10.1017/S1357729800090123
12. Riovanto R, De Marchi M, Cassandro M, Penasa M. Use of near infrared transmittance spectroscopy to predict fatty acid composition of chicken meat. *Food Chem.* 2012;134(4):2459-2464. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.04.038
13. Selle PH, Dorigam JCP, Lemme A, Chrystal PV, Liu SY. Synthetic and crystalline amino acids: alternatives to soybean meal in chicken-meat production. *Animals (Basel).* 2020;10(4):729. doi: 10.3390/ani10040729
14. Sforza S, Pigazzani A, Motti M, Porta C, Virgili R, Galaverna G, Dossena A, Marchelli R. Oligopeptides and free amino acids in Parma hams of known cathepsin B activity. *Food Chem.* 2001;75(3):267-273. doi: 10.1016/s0308-8146(01)00224-2
15. Shao D, Villet O, Zhang Z, Choi SW, Yan J, et al. Glucose promotes cell growth by suppressing branched-chain amino acid degradation. *Nat Commun.* 2018;9(1):2935. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05362-7>
16. Wu G. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. *J Anim Sci Biotechnol.* 2014;5(1):34. doi: <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-34>
17. Yoon I, Nam M, Kim HK, Moon HS, Kim S, Jang J et al. Glucose-dependent control of leucine metabolism by leucyl-tRNA synthetase 1. *Science.* 2020;367(6474):205-210. doi: 10.1126/science.aau2753

#### References

1. Fisinin VI, Egorov IA, Okolelova TM, Imangulov ShA. Feeding of poultry: monograph. *Sergiev Posad,* 2004; 375 p.
2. Makhonina VN. The study of objective indices of the quality of poultry meat to determine its grade. *Poultry and Poultry Products.* 2009;3:52-57.
3. Egorov IA, Okolelova TM, Ermakova VI et al. Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu nauchnykh issledovaniy po kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy. Fisinin VI, Egorov IA, editors. *Sergiev Posad: VNITIP;* 1992:24 p.
4. 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
5. Boye J, Wijesinha-Bettoni R, Burlingame B. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *Br J Nutr.* 2012;108(S2):S183-S211. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114512002309>
6. Duan Y, Li F, Liu H, Li Y, Liu Y et al. Nutritional and regulatory roles of leucine in muscle growth and fat reduction. *Front Biosci (Landmark Ed).* 2015; 20:796-813. doi: 10.2741/4338
7. Hou Y, Yin Y, Wu G. Dietary essentiality of “nutritionally non-essential amino acids” for animals and humans. *Exp Biol Med (Maywood).* 2015;240(8):997-1007. doi: <https://doi.org/10.1177/1535370215587913>

8. Jo C, Cho SH, Chang J, Nam KC Keys to production and processing of Hanwoo beef: a perspective of tradition and science. *Anim Front.* 2012;2(4):32-38.
9. Koblitz MGB. *Materias-primas alimenticias: composicao e controle de qualidade (Raw materials for food: composition and quality control.)*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2011:314 p.
10. Mastrototaro L, Sponder G, Saremi B, Aschenbach JR. Gastrointestinal methionine shuttle: Priority handling of precious goods. *IUBMB Life.* 2016;68(12):924-934. doi: <https://doi.org/10.1002/iub.1571>
11. Ravindran V, Hendriks WH. Endogenous amino acid flows at the terminal ileum of broilers, layers and adult roosters. *Anim. Sci.* 2004;79(2):265-271. doi: 10.1017/S1357729800090123
12. Riovanto R, De Marchi M, Cassandro M, Penasa M. Use of near infrared transmittance spectroscopy to predict fatty acid composition of chicken meat. *Food Chem.* 2012;134(4):2459-2464. doi: 10.1016/j.foodchem.2012.04.038
13. Selle PH, Dorigam JCP, Lemme A, Chrystal PV, Liu SY. Synthetic and crystalline amino acids: alternatives to soybean meal in chicken-meat production. *Animals (Basel).* 2020;10(4):729. doi: 10.3390/ani10040729
14. Sforza S, Pigazzani A, Motti M, Porta C, Virgili R, Galaverna G, Dossena A, Marchelli R. Oligopeptides and free amino acids in Parma hams of known cathepsin B activity. *Food Chem.* 2001;75(3):267-273. doi: 10.1016/s0308-8146(01)00224-2
15. Shao D, Villet O, Zhang Z, Choi SW, Yan J, et al. Glucose promotes cell growth by suppressing branched-chain amino acid degradation. *Nat Commun.* 2018;9(1):2935. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05362-7>
16. Wu G. Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. *J Anim Sci Biotechnol.* 2014;5(1):34. doi: <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-34>
17. Yoon I, Nam M, Kim HK, Moon HS, Kim S, Jang J, et al. Glucose-dependent control of leucine metabolism by leucyl-tRNA synthetase 1. *Science.* 2020;367(6474):205-210. doi: 10.1126/science.aau2753

**Мустафина Александра Сергеевна**, специалист 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, e-mail: [vshivkovaas@mail.ru](mailto:vshivkovaas@mail.ru)

Поступила в редакцию 15 июля 2020 г.; принята после решения редколлегии 14 сентября 2020 г.; опубликована 30 сентября 2020 г. / Received: 15 July 2020; Accepted: 14 September 2020; Published: 30 September 2020