УДК 619:616.98:579.852.13

Научная статья

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-53-60

Е.А. Йылдырым[1] ✉
Л.А. Ильина[1]
Г.Ю. Лаптев[1]
В.А. Филиппова[1]
А.В. Дубровин[1]
Д.Г. Тюрина[1]
К.А. Калиткина[1]
А.С. Дубровина[1]
Е.С. Пономарева[1]
В.И. Фисинин[2]
И.А. Егоров[2]
Т.А. Егорова[2]
В.А. Манукян[2]
Т.Н. Ленкова[2]
О.Н. Дегтярева[2]
М.С. Тишенков[2]
Е.С. Демидова[2]
Л.М. Кашпоров[2]
В.Е. Пащенко[2]

[1] ООО «БИОТРОФ+», Санкт-Петербург, Россия

[2] Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Москва, Россия

✉ *deniz@biotrof.ru*

Поступила в редакцию:
25.11.2023

Одобрена после рецензирования:
10.01.2024

Принята к публикации:
30.01.2024

Влияние различных источников аминокислот на состав кишечной микрофлоры мясных кур и петухов родительского стада кросса «Смена 9»

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Кишечная микробиота играет решающую роль в переваривании корма и усвоении питательных веществ у сельскохозяйственной птицы, оказывая влияние на зоотехнические показатели. *Цель исследования* — сравнение влияния добавления в рацион лизина и метионина в различных формах на состав кишечной микрофлоры кур и петухов кросса «Смена 9», а также установление связи состава микрофлоры на разных рационах с зоотехническими показателями птиц.

Методы. Проведены физиологические исследования на мясных курах породы плимутрок и петухах породы корниш родительского стада отечественного кросса «Смена 9» селекции СГЦ «Смена». Были сформированы 4 группы (контрольная 1А и опытные 2А-4А) по 9 голов кур и 4 группы по 9 голов петухов (контрольная 1Б и опытные 2Б-4Б). Анализ проб содержимого слепых отростков кишечника птиц проводили методом ПЦР.

Результаты. Как показал метод количественной ПЦР, изучаемые факторы кормления: различные источники лизина и метионина и сниженный на 5% уровень обменной энергии корма по-разному повлияли на состав микрофлоры кур и петухов родительского поголовья нового кросса «Смена 9». Так, например, при снижении уровня обменной энергии в рационах кур наблюдалось уменьшение от 1,2 до 5,0 раз таких представителей нормофлоры, как *Bacteroidetes* и *Eubacteriaceae,* по сравнению с аналогичными группами с базовым количеством обменной энергии ($p \leq 0,05$). При введении в рацион лизина в форме монохлоргидрата и DL-метионина отмечено снижение массы яичников с яйцеводом на 6,9 г на фоне уменьшения уровня обменной энергии по сравнению с соответствующей группой с базовым содержанием обменной энергии ($p \leq 0,05$), тогда как при использовании лизина в форме сульфата и метионина в форме гидроксианалога метионина подобного эффекта снижения не отмечено ($p > 0,05$). При этом сдвиги в составе микрофлоры на фоне изменения рационов не имели какой-либо связи с изученными зоотехническими параметрами у кур и петухов.

Ключевые слова: кросс «Смена 9», лизин, метионин, инкубационные яйца, микрофлора кишечника, количественная ПЦР

Для цитирования: Йылдырым Е.А. *и др.* Влияние различных источников аминокислот на состав кишечной микрофлоры мясных кур и петухов родительского стада кросса «Смена 9». *Аграрная наука*. 2024; 379(2): 53–60.

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-53-60

© Йылдырым Е.А., Ильина Л.А., Лаптев Г.Ю., Филиппова В.А., Дубровин А.В., Тюрина Д.Г., Калиткина К.А., Дубровина А.С., Пономарева Е.С., Фисинин В.И., Егоров И.А., Егорова Т.А., Манукян В.А., Ленкова Т.Н., Дегтярева О.Н., Тишенков М.С., Демидова Е.С., Кашпоров Л.М., Пащенко В.Е.

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-379-2-53-60

Elena A. Yildirim[1] ✉
Larisa A. Ilyina[1]
George Yu. Laptev[1]
Valentina A. Filippova[1]
Andrey V. Dubrovin[1]
Darya G. Tyurina[1]
Xenia A. Kalitkina[1]
Alisa S. Dubrovina[1]
Ekaterina S. Ponomareva[1]
Vladimir I. Fisinin[2]
Ivan A. Egorov[2]
Tatyana A. Egorova[2]
Vardges A. Manukyan[2]
Tatyana N. Lenkova[2]
Olga N. Degtyareva[2]
Maria S. Tishenkova[2]
Ekaterina S. Demidova[2]
Lev M. Kashporov[2]
Viktoria E. Pashchenko[2]

[1] «BIOTROF+» Ltd, Saint-Petersburg, Russia

[2] All-Russian Research and Technological Poultry Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ *deniz@biotrof.ru*

Received by the editorial office:
24.07.2023

Accepted in revised:
10.01.2024

Accepted for publication:
30.01.2024

Influence of various sources of amino acids on composition of intestinal microflora of meat chickens and roosters of parent herd of cross «Smena 9»

ABSTRACT

Relevance. The intensin's microbiota plays a crucial role in feed digestion and nutrient digestion in farm poultry, influencing zootechnical performance.

The aim of the study was to compare the effect of the addition of lysine and methionine in various forms to the diet on the composition of the intestinal microflora of chickens and roosters of the «Smena 9» cross, as well as to establish a connection between the composition of microflora in different diets with the zootechnical indicators of birds.

Methods. Physiological reseach were carried out on meat chickens of the Plimutrock breed and roosters of the Cornish breed of the parent herd of the domestic cross "Smena 9" selection of the "Smena" SSC. 4 groups were formed (control 1A and experimental 2A-4A) such as of 9 laying heads and 4 groups of 9 rooster heads (control 1B and experimental 2B-4B). Analysis of samples of the contents of blind processes of the intestine of birds was carried out by PCR.

Results. As shown by the quantitative PCR method, the studied feeding factors: various sources of lysine and methionine and a 5% reduced level of metabolic energy of feed had a different effect on the composition of the microflora of chickens and roosters of the parent stock of the new cross «Smena 9». For example, with a decrease in the level of metabolic energy in the diets of chickens, there was a decrease from 1.2 to 5.0 times in such representatives of the normoflora as Bacteroidetes and Eubacteriaceae, compared with similar groups with a basic amount of metabolic energy ($p < 0.05$). When lysine was introduced into the diet in the form of monochlorohydrate and DL-methionine, a decrease in the weight of ovaries with an oviduct by 6.9 g was noted against the background of a decrease in the level of metabolic energy compared with the corresponding group with a base content of metabolic energy ($p \leq 0.05$), whereas when using lysine in the form of sulfate and methionine in the form of a hydroxyanalog of methionine, a similar effect was reduced not noted ($p > 0.05$). At the same time, shifts in the composition of microflora against the background of changes in diets did not have any connection with the studied zootechnical parameters in chickens and roosters.

Key words: cross «Smena 9», lysine, methionine, incubation eggs, intestinal microflora, quantitative PCR

For citation: Yildirim E.A. *et. al.* Influence of various sources of amino acids on composition of intestinal microflora of meat chickens and roosters of parent herd of cross "Smena 9". *Agrarian science.* 2024; 379(2): 53–60 (in Russian).

https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-53-60

© Yildirim E.A., Ilyina L.A., Laptev G.Yu., Filippova V.A., Dubrovin A.V., Tyurina D.G., Kalitkina K.A., Dubrovina A.S., Ponomareva E.S., Fisinin V.I., Egorov I.A., Egorova T.A., Manukyan V.A., Lenkova T.N., Degtyareva O.N., Tishenkov M.S., Demidova E.S., Kashporov L.M., Pashchenko V.E.

Введение/Introduction

Реализация генетического потенциала птиц без дополнительного включения в комбикорма основных незаменимых синтетических аминокислот невозможна. Однако в последние годы произошло резкое увеличение стоимости данных важнейших сырьевых компонентов, необходимых для производства комбикормов, что инициирует проведение исследований в направлении поиска наиболее экономически эффективных источников аминокислот.

Как известно, метионин является первой лимитирующей незаменимой аминокислотой для сельскохозяйственной птицы [1]. Различные источники метионина могут быть использованы организмом птицы с помощью уникального ферментативного пути, включающего оксидазу D-аминокислот, которая может превращать D-изомер или аналог в L-изомер в печени и почках. Традиционно метионин вводят в рацион птиц в основном в виде DL-метионина. Однако синтетическим источником метионина в комбикорме может явиться не только сухой DL-метионин, но и его жидкий гидроксианалог, применение которого экономически более выгодно [2]. Ряд исследователей считают, что гидроксианалог метионина не менее эффективен, чем DL-метионин. Другие авторы имеют противоположную точку зрения [3], поэтому значение форм метионина в птицеводстве требует более углубленного исследования.

Лизин также является незаменимой аминокислотой для птиц [4], но чрезмерная концентрация кормового лизина может оказывать негативное воздействие на птиц, например снижать набор живой массы и увеличивать частоту серьезных проблем с лапами [5].

Обычной формой, в которой лизин добавляется в рацион бройлеров, является лизин гидрохлорид, который содержит 78% доступного лизина. Сульфат L-лизина является альтернативой L-лизину гидрохлориду. Он содержит 52% доступного лизина, его использование является весьма привлекательным как по экологическим, так и по экономическим причинам. Ввод монохлоргидрата лизина приводит к завышению в корме уровня хлора в комбикормах при их балансировании по лизину.

Как известно, избыток хлора в рационе вызывает такие негативные эффекты, как снижение иммунитета и нарушение обмена веществ. В отличие от кристаллического лизина гидрохлорида, лизин сульфат не содержит хлора, но содержит побочные продукты ферментации углеводов и высушенные микробные клетки. По мнению некоторых исследователей, присутствие высушенных микробных клеток придает L-лизин сульфату дополнительную питательную ценность [6], что может положительно отражаться на продуктивности и метаболических характеристиках цыплят-бройлеров. Однако, как показали H. Jia и соавт. [7], чрезмерное добавление лизина сульфата в рацион из кукурузно-соевой муки оказывает негативное воздействие на бройлеров.

С другой стороны, эффективность использования племенной птицы родительских стад, в частности количество цыплят, полученных от каждой родительской пары, в высокой степени определяется воспроизводительными качествами несушек и петухов [8]. Но необходимо отметить, что некоторые значимые признаки продуктивности сельскохозяйственных птиц имеют отрицательную биологическую корреляционную зависимость. Так, живая масса и масса яиц находятся в отрицательной связи с воспроизводительными качествами, к которым относят яйценоскость, оплодотворяемость и выводимость яиц, а также выход молодняка [9, 10]. Поэтому для снижения отложения в организме птиц родительского поголовья жира и сдерживания нарастания живой массы применяется количественное ограничение в корме, в том числе уменьшение уровня аминокислот и энергии за счет включения в рецепты комбикормов компонентов с повышенным уровнем клетчатки [11]. Тем не менее этот прием не должен оказывать отрицательное влияние на состояние здоровья. Существуют противоречивые сведения о воздействии рационов со сниженным количеством обменной энергии на здоровье животных и птиц [12, 13]. Кроме того, на птице родительского поголовья нового кросса «Смена 9» такие исследования не проводились.

Важно отметить, что желудочно-кишечный тракт цыплят, где происходят переваривание и всасывание компонентов рациона (в том числе аминокислот), содержит очень сложные и разнообразные микробные сообщества, включающие как полезные, так и нежелательные бактерии [14]. Но динамический баланс, как правило, поддерживается таким образом, что полезные бактерии преобладают над вредными [15].

Кишечная микробиота играет решающую роль в переваривании корма и усвоении питательных веществ у сельскохозяйственной птицы. Она имеет связь с коэффициентом конверсии корма, приростом массы тела, здоровьем, мясной и яичной продуктивностью птиц. Количество и тип микробных сообществ в каждом отделе кишечника варьируют в зависимости от поступления питательных веществ из рациона, иммунных реакций хозяина и метаболитов, вырабатываемых этой сложной микробной системой в кишечнике [14].

Такие факторы, как стрессы и условия содержания, а также состав рациона, могут вызывать пагубные изменения в изменении баланса кишечной микрофлоры, приводящие к ухудшению здоровья птиц, снижению производственных показателей, включая качество и выход инкубационных яиц, а также репродуктивное здоровье кур и петухов [16].

Ранее в опытах изучено влияние гидроксианалога метионина на состав микрофлоры кишечника бройлеров кросса «Росс 308» [17, 18]. Тем не менее отсутствуют данные о специфическом воздействии различных источников метионина, лизина и рационов со сниженным (по сравнению с нормой) количеством обменной энергии на состав микрофлоры кишечника птиц нового отечественного кросса «Смена 9».

Цель исследования — сравнение влияния добавления в рацион кормления лизина и метионина в различных формах на фоне базового и сниженного количества обменной энергии на состав кишечной микрофлоры кур и петухов кросса «Смена 9», а также установление связи состава микрофлоры на разных рационах с зоотехническими показателями птиц, включая качество инкубационных яиц.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

На базе вивария СГЦ «Загорское ЭПХ»[1] (Московская обл., Россия) в 2023 году проведены физиологические исследования на мясных курах породы плимутрок и петухах породы корниш родительского стада

[1] Селекционно-генетический центр «Загорское экспериментальное племенное хозяйство» — филиал ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Российской академии наук».

Таблица 1. **Схема опыта на мясных курах породы плимутрок и петухах породы корниш родительского стада кросса «Смена 9»**
Table 1. **Scheme of experience on meat chickens of the Plimutrock breed and roosters of the Cornish breed of the parent herd of the cross "Smena 9"**

Группы		Состав рациона
куры	петухи	
Контрольная 1А	Контрольная 1Б	Основной рацион (ОР), сбалансированный по всем питательным веществам согласно «Руководству по работе с птицей мясного кросса "Смена 9"» с применением монохлоргидрата лизина и DL-метионина
Опытная 2А	Опытная 2Б	ОР с применением сульфата лизина и гидроксианалога метионина
Опытная 3А	Опытная 3Б	ОР с пониженными на 5% уровнями лизина в форме монохлоргидрата и DL-метионина и обменной энергии
Опытная 4А	Опытная 4Б	ОР с пониженными на 5% уровнями лизина (в форме сульфата) и метионина (в форме гидроксианалога метионина) и обменной энергии

Таблица 2. **Структура и рецепты комбикормов для кур**
Table 2. **Structure and recipes of compound feeds for chickens**

Компонент	Группа			
	1А	2А	3А	4А
	Уровень ввода, %			
Пшеница 11,5%	33,22	33,25	40,91	40,19
Кукуруза 8,5%	25,00	25,00	20,52	20,94
Овес 10,5%*	7,00	7,00	7,00	7,00
Жмых подсолнечный 32%	11,13	11,00	10,64	11,00
Соевый шрот 44%	10,48	10,54	9,29	9,19
Мука рыбная 67,0%	1,50	1,50	1,50	1,50
Монокальцийфосфат	1,22	1,22	1,21	1,21
Известняк Са 36%	6,89	6,89	6,91	6,91
Масло соевое	2,50	2,50	1,00	1,00
Премикс 0,5%	0,50	0,50	0,50	0,50
Соль	0,29	0,29	0,29	0,29
Лизин сульфат 70%	–	0,11	–	0,10
Лизин HCl	0,08	–	0,08	–
Холин хлорид	0,08	0,08	0,08	0,08
Треонин	0,02	0,02	0,01	0,01
Родимет	–	0,09	–	0,07
Метионин	0,08	–	0,06	–
Фекорд	0,01	0,01	0,01	0,01
Обменная энергия, Ккал / 100 г МДж/кг	280,00 11,73	280,00 11,73	270,00 11,31	270,00 11,31

отечественного кросса «Смена 9» селекции СГЦ «Смена»[2] (Московская обл., Россия).

В начале продуктивного периода в возрасте 25 недель были сформированы 4 группы (контрольная 1А и опытные 2А–4А) по 9 голов кур и 4 группы по 9 голов петухов (контрольная 1Б и опытные 2Б–4Б). Каждая птица размещалась в отдельной клетке.

Питательность комбикормов для мясных кур контрольной группы соответствовала «Руководству по работе с птицей мясного кросса "Смена 9"», 2021 г.[3].

Птиц кормили рассыпными комбикормами. Структура и рецепт комбикормов для кур представлены в таблице 2. Каждая несушка на пике продуктивности получала ежедневно в утренние часы по 165 г комбикорма в расчете на голову.

Каждый петух ежедневно в утренние часы получал по 130 г комбикорма и через два часа — по 15 г зерна овса.

Таблица 3. **Структура и рецепты комбикормов для петухов**
Table 3. **Structure and recipes of feed for roosters**

Компонент	Группа			
	1-я К	2-я	3-я	4-я
	Уровень ввода, %			
Пшеница 11,5%	45,04	44,94	49,13	49,12
Кукуруза 8,5%	15,00	15,00	10,00	10,00
Овес 10,5%*	12,00	12,00	12,00	12,00
Жмых подсолнечный 32%	10,16	10,07	3,03	2,95
Отруби пшеничные 14,4%	8,97	9,07	14,00	14,00
Мука травяная 16,0%	3,00	3,00	6,00	6,00
Мука рыбная 67,0%	1,50	1,50	1,50	1,50
Монокальцийфосфат	1,12	1,12	1,12	1,12
Известняк Са 36%	1,01	1,01	0,96	0,96
Масло соевое	1,00	1,00	1,00	1,00
Премикс 0,5%	0,50	0,50	0,50	0,50
Соль	0,31	0,31	0,32	0,32
Лизин сульфат 70%	–	0,26	–	0,27
Лизин HCl	0,18	–	0,19	–
Холин хлорид	0,08	0,08	0,08	0,08
Треонин	0,07	0,07	0,09	0,09
Родимет	–	0,06	–	0,08
Метионин	0,05	–	0,07	–
Фекорд	0,01	0,01	0,01	0,01
Обменная энергия, Ккал / 100 г МДж/кг	275 11,52	275 11,52	266,80 11,18	266,88 11,18

Примечание: *15 г овса, включенные в рецепт комбикорма, скармливали ежедневно в натуральном виде.

Уровни добавки в комбикорма всех биологически активных веществ обеспечивали за счет использования премикса.

Для поения использовали ниппельные поилки, а для освещения применяли лампы накаливания, длина светового дня составляла 14 часов при интенсивности освещения 20–25 лк.

Оплодотворяющую способность спермы от петухов всех групп определяли путем искусственного осеменения кур породы плимутрок. Для взятия спермы 2 раза в неделю петухов массажировали и полученной спермой в 35-недельном возрасте осеменяли 4 группы кур-несушек породы плимутрок (по 10 голов в каждой).

От каждой группы собирали по 100 яиц и закладывали на инкубацию.

Убой кур и петухов проводили в 35-недельном возрасте.

При постановке эксперимента были соблюдены требования Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях[4] (ETS № 123, г. Страсбург, 1986).

Отбор проб содержимого слепых отростков кишечника птиц (в трех повторностях) проводили в конце эксперимента (35 недель) с максимально возможным соблюдением условий асептики. Все образцы замораживали при -20 °С и транспортировали в сухом льду в лабораторию ООО «БИОТРОФ+».

Тотальную ДНК из образцов выделяли с использованием набора Genomic DNA Purification Kit (Thermo Fisher Scientific, Inc., США) согласно инструкции. Реакции амплификации проводили на амплификаторе DTLight (ДНК-Технология, Россия). Праймеры для детекции микроорганизмов в пробах были разработаны с использованием программы NCBI/Primer-BLAST[5] Анализ

[2] https://spsmena.ru/ Селекционно-генетический центр «Смена» — филиал ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства Российской академии наук.
[3] Руководство по работе с птицей мясного кросса «Смена 9» с аутосексной материнской формой / Д.Н. Ефимов, А.В. Егорова, Ж.В. Емануйлова и др. Под общ. ред В.И. Фисинина. Сергиев Посад. 2021; 99.
[4] https://rm.coe.int/168007a6a8 Текст изменен в соответствии с положениями Протокола (СЕД № 170) (вступление в силу 2 декабря 2005 года).
[5] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast

бактерий в пробах проводили методом ПЦР в реальном времени с помощью «Набора реактивов для проведения ПЦР-РВ в присутствии интеркалирующего красителя EVA Green» (ЗАО «Синтол», Россия) и праймеров (5′–3′).

Математическую и статистическую обработку результатов осуществляли методом многофакторного дисперсионного анализа (Multifactor ANalysis of VAriance, ANOVA) в программах Microsoft Excel XP/2003 (США), R-Studio (Version 1.1.453)[6]. Достоверность различий устанавливали по t-критерию Стьюдента, различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$. Средние значения сравнивали с использованием теста достоверно значимой разницы Тьюки (HSD) и функции TukeyHSD в пакете R Stats Package[7].

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Для выявления возможных различий в составе микрофлоры кишечника с зоотехническими показателями птиц были изучены параметры живой массы, воспроизводительной способности и качества инкубационных яиц кур кросса «Смена 9» (табл. 4).

Из таблицы 4 видно, что достоверных изменений между группами по таким показателям, как яйценоскость, масса яиц, выход инкубационных яиц, инкубационные качества яиц, не отмечено ($p > 0,05$). При этом снижение уровня обменной энергии в рационах (опытные группы 3А и 4А) от уровня базового рациона (контрольная группа 1А и опытная 2А) приводило к ожидаемому эффекту — уменьшению живой массы кур в группе 3А в 26 недель, в группе 4А — в 39 недель ($p \leq 0,05$). Однако в группе 3А при введении в рацион лизина в форме монохлоргидрата и DL-метионина отмечено и снижение массы яичников с яйцеводом на 6,9 г на фоне уменьшения уровня обменной энергии по сравнению с группой 1А с базовым уровнем обменной энергии ($p \leq 0,05$). При этом в группе 4А при использовании лизина в форме сульфата и метионина в форме гидроксианалога метионина подобного эффекта снижения не отмечено ($p > 0,05$), что свидетельствует о большей эффективности этих источников аминокислот.

Важно подчеркнуть изучаемые факторы кормления: различные источники лизина и метионина и уровня обменной энергии по-разному повлияли на организм кур и петухов.

Таблица 4. **Зоотехнические показатели мясных кур материнской родительской формы кросса «Смена 9» за 13 недель продуктивного периода**

Table 4. **Zootechnical indicators of meat chickens of the parent form of the "Smena 9" cross-section for 13 weeks of the productive period**

Показатели	Группы			
	1А	2А	3А	4А
Сохранность поголовья, %	100,0	100,0	100,0	100,0
Живая масса (г) в:				
26 недель	3572 ± 34,5 [a]	3587 ± 33,8 [a]	3492 ± 32,3 [b]	3510 ± 38,4 [ab]
39 недель	4220 ± 35,5 [ab]	4242 ± 36,2 [a]	4170 ± 29,4 [bc]	4105 ± 34,5 [c]
Яйценоскость на начальную несушку за 13 недель продуктивного периода, шт.	68,0	70,0	67,0	68,0
Масса яиц в 30-недельном возрасте, г	58,01 ± 0,22	58,21 ± 0,33	57,72 ± 0,30	57,94 ± 0,31
Выход инкубационных яиц, %	95,6	95,7	94,0	95,6
Инкубационные качества яиц:				
оплодотворенность, %	91,0	92,0	90,0	92,0
выводимость, %	86,8	88,0	85,1	89,1
вывод цыплят, %	84,0	86,0	83,0	85,0
Масса яичника с яйцеводом (г) в возрасте 39 недель	156,2 ± 1,11 [a]	160,4 ± 1,72 [a]	149,3 ± 1,69 [b]	160,7 ± 1,84 [a]

Примечание: a–c — данные с общим верхним индексом достоверно не различаются ($p > 0,05$) между группами.

Таблица 5. **Живая масса и масса семенников мясных петухов отцовской родительской формы кросса «Смена 9» в 35 недель**

Table 5. **Body weight and mass of testes of meat roosters of the paternal parental form of the cross "Smena 9" at 35 weeks**

Показатель	Группа			
	1Б	2Б	3Б	4Б
Живая масса, г	4705 ± 151,4 [a]	4772 ± 160,2 [a]	4712 ± 154,4 [a]	4705 ± 171,6 [a]
Масса семенников, г	39,1 ± 3,11 [a]	42,9 ± 4,22 [a]	37,7 ± 3,12 [a]	42,8 ± 4,17 [a]
Относительная масса семенников (к живой массе), %	0,83 ± 0,06 [a]	0,90 ± 0,05 [a]	0,80 ± 0,07 [a]	0,91 ± 0,04 [a]

Примечание: a — данные достоверно не различаются ($p > 0,05$) между группами.

Таблица 6. **Содержание некоторых групп микроорганизмов в пробах слепых отростков кишечника мясных кур материнской родительской формы кросса «Смена 9» методом количественной ПЦР, геномов/г**

Table 6. **Content of certain groups of microorganisms in samples of blind intestinal processes of meat chickens of maternal parent cross form "Smena 9" by quantitative PCR, genomes/g**

Наименование таксона бактерий	Группы			
	1А	2А	3А	4А
Нормофлора				
Bacteroidetes	$1,3 \times 10^8 \pm 7,95 \times 10^6$ [a]	$1,6 \times 10^8 \pm 9,41 \times 10^6$ [a]	$6,3 \times 10^7 \pm 4,40 \times 10^6$ [b]	$5,0 \times 10^7 \pm 3,28 \times 10^6$ [b]
Eubacteriaceae	$2,0 \times 10^6 \pm 1,47 \times 10^5$ [a]	$1,0 \times 10^6 \pm 1,32 \times 10^5$ [a]	$7,9 \times 10^5 \pm 1,89 \times 10^4$ [b]	$4,0 \times 10^5 \pm 1,39 \times 10^4$ [c]
Clostridiaceae	$7,9 \times 10^7 \pm 4,63 \times 10^6$ [a]	$4,0 \times 10^7 \pm 1,23 \times 10^6$ [b]	$4,0 \times 10^7 \pm 2,50 \times 10^6$ [b]	$1,6 \times 10^7 \pm 9,98 \times 10^6$ [c]
Lactobacillus spp.	$2,5 \times 10^6 \pm 1,34 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6 \pm 9,97 \times 10^4$	$2,5 \times 10^6 \pm 2,20 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6 \pm 1,53 \times 10^5$
Selenomonadaceae	$4,0 \times 10^6 \pm 2,45 \times 10^5$ [a]	$2,0 \times 10^6 \pm 1,11 \times 10^5$ [b]	$3,2 \times 10^6 \pm 1,02 \times 10^5$ [a]	$1,0 \times 10^6 \pm 8,47 \times 10^4$ [a]
Нежелательная и условно-патогенная микрофлора				
Peptostreptococcus spp.	$1,0 \times 10^6 \pm 1,07 \times 10^5$ [a]	$7,9 \times 10^5 \pm 1,96 \times 10^4$ [b]	$7,9 \times 10^5 \pm 8,70 \times 10^3$ [b]	$3,2 \times 10^5 \pm 9,45 \times 10^3$ [c]
Enterobacteriaceae	$1,3 \times 10^5 \pm 1,03 \times 10^4$ [a]	$4,0 \times 10^4 \pm 2,52 \times 10^3$ [b]	$1,3 \times 10^5 \pm 1,12 \times 10^4$ [a]	$4,0 \times 10^4 \pm 8,74 \times 10^6$ [b]
Actinomycetales	$1,3 \times 10^5 \pm 5,22 \times 10^4$ [a]	$1,3 \times 10^4 \pm 2,30 \times 10^3$ [b]	$2,5 \times 10^4 \pm 3,62 \times 10^3$ [b]	$2,0 \times 10^4 \pm 1,03 \times 10^3$ [b]
Таксоны, среди которых нередко встречаются патогены				
Fusobacteriaceae	$1,0 \times 10^6 \pm 1,06 \times 10^5$ [a]	$6,3 \times 10^3 \pm 6,27 \times 10^2$ [b]	$6,3 \times 10^4 \pm 7,54 \times 10^3$ [c]	$7,9 \times 10^3 \pm 6,80 \times 10^2$ [b]
Streptococcus spp.	–	–	–	–
Staphylococcus spp.	$6,3 \times 10^4 \pm 5,41 \times 10^3$ [a]	$1,3 \times 10^5 \pm 1,69 \times 10^4$ [b]	$4,0 \times 10^4 \pm 3,32 \times 10^3$ [a b]	$6,3 \times 10^4 \pm 4,45 \times 10^3$ [a]

Примечание: a–c — данные с общим верхним индексом достоверно не различаются ($p > 0,05$) между группами.

Как видно из таблицы 5, показатели живой массы, а также абсолютной и относительной массы семенников во всех вариантах были неизменны ($p > 0,05$).

Методом количественной ПЦР в пробах слепых отростков кишечника кур и петухов (табл. 6) подопытного и контрольного поголовья было установлено изменение некоторых представителей нормофлоры, условно-патогенной и патогенной микрофлоры под влиянием изучаемых параметров.

Исследования показали, что не было отмечено связи между применением разных источников аминокислот в комбикормах, а также снижением обменной энергии на 5% с составом

[6] https://rstudio.com
[7] https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/00Index.html

микрофлоры слепых отростков кишечника несушек, однако в группах 2А–4А изменялось количественное соотношение некоторых таксонов бактерий по сравнению с контрольной группой 1А ($p \leq 0,05$).

Так, при снижении уровня обменной энергии в рационе наблюдалось уменьшение (от 1,2 до 5,0 раз) таких представителей нормофлоры, как *Bacteroidetes* и *Eubacteriaceae* в группах 3А и 4А по сравнению с контролем 1А и группой 2А ($p \leq 0,05$). Это могло быть связано со снижением живой массы кур, поскольку, как было показано в опытах не млекопитающих, численность бактерий *Bacteroidetes* находится в прямой зависимости от набора массы тела и ожирения [19]. *Bacteroidetes* и *Eubacteriaceae* — это бактерии-комменсалы, которые вырабатывают летучие жирные кислоты (ЛЖК), такие как ацетат, пропионат, бутират и лактат [20]. Эти ЛЖК играют специфическую роль в пищеварительной системе, такую как вклад в увеличение уровня энергии за счет усиления глюконеогенеза [21] и уменьшение нежелательных видов бактерий в кишечнике.

ЛЖК стимулируют пролиферацию и дифференцировку клеток эпителия кишечника и увеличивают высоту ворсинок, тем самым увеличивая площадь поглощающей поверхности кишечника. Ацетат и пропионат также действуют как энергетический субстрат для тканей. Большинство филотипов бактерий, распространенных у птиц с более высоким потреблением корма и более высокими показателями прироста живой массы, являются, как правило, микроорганизмами с известными полезными метаболическими характеристиками [22].

Ранее многочисленные исследования показали, что состав рациона вносит основной вклад в изменение разнообразия кишечного микробиома — как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе [23]. Например, было доказано, что рацион с высоким содержанием животного белка был связан с увеличением количества *Bacteroides* spp., *Alistipes* spp. и *Bilophila* spp., в то время как количество *Lactobacillus* spp. и *Roseburia* spp. уменьшалось [24, 25].

Кроме того, в опытных группах 2А–4А происходило снижение практически во всех случаях нежелательных бактерий, таких как пептострептококки, энтеробактерии и актиномицеты, а также патогенных фузобактерий по сравнению с контролем 1А ($p \leq 0,05$), которые при ослаблении резистентности могут вызывать воспалительные заболевания у птиц. Так, например, снижение фузобактерий в группах 2А–4А достигало от 126,6 до 158,7 раза по сравнению с контрольной группой 1А ($p \leq 0,05$). Ранее S. Kumar и соавт. [26] обнаружили увеличение содержания пептострептококков в слепых отростков кишечника при снижении уровня метионина в рационе бройлеров Cobb 500 в возрасте 21 и 42 дней. Хотя пептострептококк является частью нормальной микробиоты кишечника [27], он считается условно-патогенным микроорганизмом [28]. L. Yan и соавт. [29] обнаружили, что крупноизмельченная кукуруза увеличивала количество пептострептококка в подвздошной кишке, то есть пептострептококк потенциально процветает в условиях, богатых питательными веществами.

Проведенные исследования еще раз доказывают, что в результате изменения рациона может быть снижен или, напротив, увеличен риск определенных заболеваний, в частности возникающих из-за воспаления эпителия кишечника.

По мнению авторов, изменения в составе микрофлоры в группе 2А по сравнению с группой 1А могут быть связаны с тем, что гидроксианалог метионина по сравнению с DL-метионином связан со снижением буферной емкости корма.

Необходимо отметить, что изменение в составе микрофлоры в группе 3А могло иметь связь со снижением массы яичников с яйцеводом. Ранее было высказано предположение [30], что кишечная микробиота и ее метаболиты, такие как короткоцепочечные жирные кислоты, желчные кислоты и производные триптофана, косвенно влияют на воспроизводительную способность птиц по оси «микробиота — кишечник — печень / мозг — репродуктивный тракт». Обилие некоторых кишечных микробов положительно коррелировало с уровнями фолликулостимулирующего гормона в сыворотке крови, лютеинизирующего гормона и эстрадиола [31], что дополнительно указывает на связи, участвующие в регуляции продуктивных показателей у кур-несушек.

Улучшение структуры эпителия кишечника, вызванное метаболитами бактерий — летучими жирными кислотами вейлионелл, способствовало всасыванию кальция, увеличивая отложение кальция в яичной скорлупе и толщину яичной скорлупы [32].

Исследования на петухах показали, что содержание *Eubacteriaceae*, *Peptostreptococcus* spp. и *Enterobacteriaceae* в слепых отростках кишечника, в отличие от кур, в группах 1Б–4Б оставалось одинаковым и не менялось в зависимости от источников аминокислот и количества обменной энергии в рационе ($p > 0,05$) (табл. 7).

Интересно, что в группе 3Б (на фоне снижения обменной энергии) не было отмечено каких-либо изменений в составе всех исследованных представителей нормофлоры по сравнению с контрольной группой 1Б ($p > 0,05$). Такие изменения могут быть связаны с

Таблица 7. **Содержание некоторых групп микроорганизмов в пробах слепых отростков кишечника петухов отцовской родительской формы кросса «Смена 9» методом количественной ПЦР, геномов/г**

Table 7. **Content of certain groups of microorganisms in samples of blind intestinal processes of roosters of paternal parental cross form "Smena 9" by quantitative PCR, genomes/g**

Группы микроорганизмов	Группы			
	1Б	2Б	3Б	4Б
Нормальная микрофлора				
Bacteroidetes	$4,0 \times 10^7 \pm 3,05 \times 10^{6\,a}$	$1,3 \times 10^8 \pm 8,45 \times 10^{6\,b}$	$5,0 \times 10^7 \pm 3,89 \times 10^{6\,a}$	$1,6 \times 10^8 \pm 9,40 \times 10^{6\,b}$
Eubacteriaceae	$1,0 \times 10^6 \pm 1,01 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6 \pm 1,04 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6 \pm 9,63 \times 10^4$	$1,6 \times 10^6 \pm 3,78 \times 10^5$
Clostridiaceae	$2,5 \times 10^7 \pm 3,33 \times 10^{6\,a}$	$5,0 \times 10^7 \pm 2,78 \times 10^{6\,b}$	$2,5 \times 10^7 \pm 1,40 \times 10^{6\,a}$	$6,3 \times 10^7 \pm 5,71 \times 10^{6\,b}$
Lactobacillus spp.	$3,2 \times 10^5 \pm 2,32 \times 10^4$	$2,0 \times 10^5 \pm 1,15 \times 10^4$	$3,2 \times 10^5 \pm 1,02 \times 10^4$	$4,0 \times 10^5 \pm 317 \times 10^4$
Selenomonadaceae	$2,5 \times 10^6 \pm 1,10 \times 10^{5\,a}$	$7,9 \times 10^5 \pm 5,16 \times 10^{5\,b}$	$2,5 \times 10^6 \pm 3,30 \times 10^{5\,a}$	$2,0 \times 10^6 \pm 9,17 \times 10^{4\,a}$
Нежелательная и условно-патогенная микрофлора				
Peptostreptococcus spp.	$6,3 \times 10^5 \pm 2,19 \times 10^4$	$7,9 \times 10^5 \pm 5,32 \times 10^4$	$5,0 \times 10^5 \pm 3,78 \times 10^4$	$7,9 \times 10^5 \pm 5,30 \times 10^4$
Enterobacteriaceae	$4,0 \times 10^5 \pm 2,31 \times 10^{4\,a}$	$5,0 \times 10^5 \pm 4,67 \times 10^{3\,a}$	$2,0 \times 10^5 \pm 2,12 \times 10^{4\,a}$	$1,0 \times 10^6 \pm 9,47 \times 10^{4\,b}$
Actinomycetales	$4,0 \times 10^3 \pm 4,33 \times 10^{2\,a}$	$1,6 \times 10^4 \pm 1,02 \times 10^{3\,b}$	$1,0 \times 10^4 \pm 8,63 \times 10^{2\,b}$	$1,0 \times 10^4 \pm 9,14 \times 10^{2\,b}$
Патогены				
Fusobacteriaceae	$1,0 \times 10^5 \pm 9,45 \times 10^{3\,a}$	$3,2 \times 10^3 \pm 5,78 \times 10^{2\,b}$	$3,2 \times 10^6 \pm 2,44 \times 10^{5\,c}$	$2,0 \times 10^5 \pm 1,18 \times 10^{4\,a}$
Streptococcus spp.	–	–	–	–
Staphylococcus spp.	$1,3 \times 10^5 \pm 8,64 \times 10^{3\,a}$	$6,3 \times 10^4 \pm 5,19 \times 10^{3\,b}$	$3,2 \times 10^4 \pm 3,30 \times 10^{3\,b}$	$7,9 \times 10^4 \pm 5,45 \times 10^{3\,b}$

Примечание: a–c — данные с общим верхним индексом достоверно не различаются ($p > 0,05$) между группами.

различным гормональным фоном у самок и самцов. Ранее в исследовании, проведенном на зимующих птицах, показано, что разнообразие и равномерность микробиоты были выше у самцов, чем у самок [33]. J.G. Kers и соавт. указывали на различия в составе микрофлоры между курами и петухами у промышленного поголовья птиц [34]. Тем не менее в слепых отростках кишечника петухов отзывчивыми на изменение рациона оказались такие бактерии, как *Actinomycetales, Fusobacteriaceae* и *Staphylococcus spp*. Общей тенденцией для всех групп оказалось то, что содержание *Actinomycetales* увеличивалось в группах 2Б–4Б по сравнению с контролем 1Б, а *Staphylococcus spp*., напротив, снижалось ($p \leq 0,05$). Ранее было установлено, что некоторые кишечные микроорганизмы активно экспрессируют γ-аминомасляную кислоту (ГАМК). Интересно, что ГАМК связана с процессом конденсации сперматозоидов, способствует фосфорилированию тирозина белка спермы, который является показателем емкости сперматозоидов, а также акросомной реакции, которая ингибируется селективными антагонистами ГАМК-рецепторов [35].

Исследование на грызунах показало, что ГАМК уменьшает чрезмерную активацию сперматозоидов путем ингибирования связывания 5-НТ с 5-НТ2 рецепторами, тем самым совместно регулируя активацию сперматозоидов с помощью 5-НТ [36]. Тем не менее в исследовании отсутствовала связь состава изученных микроорганизмов с показателями массы семенников у петухов, а также показателями оплодотворяемости.

Выводы/Conclusion

Как показал метод количественной ПЦР, изучаемые факторы кормления — различные источники лизина и метионина и сниженный на 5% уровень обменной энергии корма — по-разному повлияли на состав микрофлоры кур и петухов родительского поголовья нового кросса «Смена 9».

Судя по зоотехническим показателям и составу кишечной микрофлоры, куры оказались более чувствительны к изменению состава рациона, чем петухи. На фоне уменьшения уровня обменной энергии при введении в рацион лизина в форме монохлоргидрата и DL-метионина у кур отмечено снижение массы яичников с яйцеводом, тогда как при использовании лизина в форме сульфата и метионина в форме гидроксианалога метионина подобного эффекта не отмечено, что, вероятно, свидетельствует о лучшем влиянии этих источников аминокислот на показатели репродуктивного здоровья. При этом сдвиги в составе микрофлоры на фоне изменения рационов были связаны с изменением живой массы кур, а также массы яичников, однако не имели какой-либо связи с изученными зоотехническими параметрами у петухов.

Кроме того, изменение рациона и, как следствие, состава микрофлоры кишечника не показало какой-либо связи с выходом инкубационных яиц и их качеством. Однако точные механизмы, с помощью которых различные источники лизина и метионина и сниженный уровень обменной энергии корма повлияли на состав микрофлоры кур и петухов в данном исследовании, остаются неясными, что требует проведения дополнительных исследований в этом направлении.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.
Все авторы внесли равный вклад в работу.
Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.
Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.
All authors made an equal contribution to the 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 поддержаны грантом РНФ 22-66-00061 «Экспрессия генов продуктивности и резистентности кур нового отечественного кросса “Смена 9” и ее влияние на иммунитет, особенности реализации генетического потенциала продуктивности при разном энергоаминокислотном питании».

FUNDING

Research supported by Russian Science Foundation grant 22-66-00061 «Expression of genes for productivity and resistance of chickens of the new domestic cross-section “Change 9” and its effect on immunity, features of the implementation of the genetic potential of productivity with different energy-amino acid nutrition».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vieira S.L., Lemme A., Goldenberg D.B., Brugalli I. Responses of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. *Poultry Science*. 2004; 83(8): 1307–1313. https://doi.org/10.1093/ps/83.8.1307

2. Wickramasuriya S.S. *et al.* Differential Effects of Dietary Methionine Isomers on Broilers Challenged with Acute Heat Stress. *The Journal of Poultry Science*. 2019; 56(3): 195–203. https://doi.org/10.2141/jpsa.0180072

3. Bauriedel W.R. The Effect of Feeding D-Methionine on the D-Amino Acid Oxidase Activity of Chick Tissues. *Poultry Science*. 1963; 42(1): 214–217. https://doi.org/10.3382/ps.0420214

4. Jackson M. A closer look at lysine sources: L-lysine sulfate plus fermentation co-products. *Feed International*. 2001; 22: 18–20.

5. Henry M.H. *et al.* The Performance of Broiler Chicks Fed Diets Containing Extruded Cottonseed Meal Supplemented with Lysine. *Poultry Science*. 2001; 80(1): 762–768. https://doi.org/10.1093/ps/80.6.762

6. Schutte J.B., Pack M. Biological efficacy of l-lysine preparations containing biomass compared to l-lysine-HCl. *Archiv für Tierernaehrung*. 1994; 46(3): 261–268. https://doi.org/10.1080/17450399409381775

7. Jia H. *et al.* Effects of *L*-lysine·H_2SO_4 product on the intestinal morphology and liver pathology using broiler model. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 10. https://doi.org/10.1186/s40104-019-0318-9

8. Егорова А.В., Ефимов Д.Н., Емануйлова Ж.В., Комаров А.А. Эффект селекции отцовской линии породы корниш селекционно-генетического центра «Смена». *Птицеводство*. 2020; (3): 4–9. https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-3-4-9

9. Егорова А.В. Основные направления работы с мясными курами родительского стада бройлеров. *Птицеводство*. 2017; (3): 16–21. https://elibrary.ru/ylkcfr

REFERENCES

1. Vieira S.L., Lemme A., Goldenberg D.B., Brugalli I. Responses of growing broilers to diets with increased sulfur amino acids to lysine ratios at two dietary protein levels. *Poultry Science*. 2004; 83(8): 1307–1313. https://doi.org/10.1093/ps/83.8.1307

2. Wickramasuriya S.S. *et al.* Differential Effects of Dietary Methionine Isomers on Broilers Challenged with Acute Heat Stress. *The Journal of Poultry Science*. 2019; 56(3): 195–203. https://doi.org/10.2141/jpsa.0180072

3. Bauriedel W.R. The Effect of Feeding D-Methionine on the D-Amino Acid Oxidase Activity of Chick Tissues. *Poultry Science*. 1963; 42(1): 214–217. https://doi.org/10.3382/ps.0420214

4. Jackson M. A closer look at lysine sources: L-lysine sulfate plus fermentation co-products. *Feed International*. 2001; 22: 18–20.

5. Henry M.H. *et al.* The Performance of Broiler Chicks Fed Diets Containing Extruded Cottonseed Meal Supplemented with Lysine. *Poultry Science*. 2001; 80(1): 762–768. https://doi.org/10.1093/ps/80.6.762

6. Schutte J.B., Pack M. Biological efficacy of l-lysine preparations containing biomass compared to l-lysine-HCl. *Archiv für Tierernaehrung*. 1994; 46(3): 261–268. https://doi.org/10.1080/17450399409381775

7. Jia H. *et al.* Effects of *L*-lysine·H_2SO_4 product on the intestinal morphology and liver pathology using broiler model. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2019; 10: 10. https://doi.org/10.1186/s40104-019-0318-9

8. Egorova A.V., Efimov D.N., Emanuylova Zh.V., Komarov A.A. The effects of selection of paternal Cornish line of broiler breeders at the Center for Genetics & Selection “Smena”. *Ptitsevodstvo*. 2020; (3): 4–9 (in Russian). https://doi.org/10.33845/0033-3239-2020-69-3-4-9

9. Egorova A.V. The Principal Directions in Selection of Broiler Breeder Females. *Ptitsevodstvo*. 2017; (3): 16–21 (in Russian). https://elibrary.ru/ylkcfr

10. Коноплева А.П. Ефимов Д.Н., Байковская Е.Ю., Емануйлова Ж.В. Воспроизводительные качества петухов отцовской линии СМ5 кросса «Смена 9». *Птицеводство*. 2021; (11): 16–20.
https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-11-16-20

11. Коноплева А.П. Эффективные приемы работы с петухами мясных кроссов в селекционных и родительских стадах. *Птицеводство*. 2021; (5): 43–49.
https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-5-43-49

12. Savory C.J., Lariviere J.-M. Effects of qualitative and quantitative food restriction treatments on feeding motivational state and general activity level of growing broiler breeders. *Applied Animal Behaviour Science*. 2000; 69(2): 135–147.
https://doi.org/10.1016/s0168-1591(00)00123-4

13. de Jong I.C., Enting H., van Voorst A., Blokhuis H.J. Do low-density diets improve broiler breeder welfare during rearing and laying? *Poultry Science*. 2005; 84(2): 194–203.
https://doi.org/10.1093/ps/84.2.194

14. Oviedo-Rondón E.O., Hume M.E., Hernández C., Clemente-Hernández S. Intestinal Microbial Ecology of Broilers Vaccinated and Challenged with Mixed *Eimeria* Species, and Supplemented with Essential Oil Blends. *Poultry Science*. 2006; 85(5): 854–860.
https://doi.org/10.1093/ps/85.5.854

15. Sugiharto S. Role of nutraceuticals in gut health and growth performance of poultry. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2016; 15(2): 99–111.
https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.06.001

16. Liu H.N. *et al.* Effects of dietary supplementation of quercetin on performance, egg quality, cecal microflora populations, and antioxidant status in laying hens. *Poultry Science*. 2014; 93(2): 347–353.
https://doi.org/10.3382/ps.2013-03225

17. Merciera Y., Francesch M., Badiola I., Pérez De Rozas A., Geraert P.-A. Effects of Methionine Sources and NSP Enzymes on Broiler Gut Microflora. *16th European Symposium on Poultry Nutrition. Proceedings*. Strasbourg. 2007; 332.

18. Stadtman E.R., Van Remmen H., Richardson A., Wehr N.B., Levine R.L. Methionine oxidation and aging. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics*. 2005; 1703(2): 135–140.
https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2004.08.010

19. Clarke S.F. *et al.* The gut microbiota and its relationship to diet and obesity. *New insights*. *Gut Microbes*. 2012; 3(3): 186–202.
https://doi.org/10.4161/gmic.20168

20. van Der Wielen P.W.J.J., Biesterveld S., Notermans S., Hofstra H., Urlings B.A., van Knapen F. Role of Volatile Fatty Acids in Development of the Cecal Microflora in Broiler Chickens during Growth. *Applied and Environmental Microbiology*. 2000; 66(6): 2536–2540.
https://doi.org/10.1128/AEM.66.6.2536-2540.2000

21. De Vadder F. *et al.* Microbiota-Generated Metabolites Promote Metabolic Benefits via Gut-Brain Neural Circuits. *Cell*. 2014; 156(1–2): 84–96.
https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.12.016

22. Stanley D. *et al.* Identification of chicken intestinal microbiota correlated with the efficiency of energy extraction from feed. *Veterinary Microbiology*. 2013; 164(1–2): 85–92.
https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.01.030

23. Beam A., Clinger E., Hao L. Effect of Diet and Dietary Components on the Composition of the Gut Microbiota. *Nutrients*. 2021; 13(8): 2795.
https://doi.org/10.3390/nu13082795

24. Erridge C., Attina T., Spickett C.M., Webb D.J. A high-fat meal induces low-grade endotoxemia: evidence of a novel mechanism of postprandial inflammation. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2007; 86(5): 1286–1292.
https://doi.org/10.1093/ajcn/86.5.1286

25. Ghoshal S., Witta J., Zhong J., de Villiers W., Eckhardt E. Chylomicrons promote intestinal absorption of lipopolysaccharides. *Journal of Lipid Research*. 2009; 50(1): 90–97.
https://doi.org/10.1194/jlr.M800156-JLR200

26. Kumar S., Adhikari P., Oakley B., Kim W.K. Changes in cecum microbial community in response to total sulfur amino acid (TSAA: DL-methionine) in antibiotic-free and supplemented poultry birds. *Poultry Science*. 2019; 98(11): 5809–5819.
https://doi.org/10.3382/ps/pez380

27. Kollarcikova M. *et al.* Use of 16S rRNA gene sequencing for prediction of new opportunistic pathogens in chicken ileal and cecal microbiota. *Poultry Science*. 2019; 98(6): 2347–2353.
https://doi.org/10.3382/ps/pey594

28. Murphy E.C., Frick I.-M. Gram-positive anaerobic cocci — commensals and opportunistic pathogens. *FEMS Microbiology Reviews*. 2013; 37(4): 520–553.
https://doi.org/10.1111/1574-6976.12005

29. Yan L. *et al.* Effects of corn particle size on growth performance, gastrointestinal development, carcass indices and intestinal microbiota of broilers. *Poultry Science*. 2022; 101(12): 102205.
https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102205

30. Dai D., Qi G.-h., Wang J., Zhang H.-j., Qiu K., Wu S.-g. Intestinal microbiota of layer hens and its association with egg quality and safety. *Poultry Science*. 2022; 101(9): 102008.
https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102008

31. Liu T., Tang J., Feng F. Medium-chain α-monoglycerides improves productive performance and egg quality in aged hens associated with gut microbiota modulation. *Poultry Science*. 2020; 99(12): 7122–7132.
https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.049

32. Feng J. *et al.* Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions and alters gut microbiota in late-phase laying hens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 72.
https://doi.org/10.1186/s40104-021-00600-3

33. Liu G. *et al.* Effects of Sex and Diet on Gut Microbiota of Farmland-Dependent Wintering Birds. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 587873.
https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.587873

34. Kers J.G., Velkers F.C., Fischer E.A.J., Hermes G.D.A., Stegeman J.A., Smidt H. Host and Environmental Factors Affecting the Intestinal Microbiota in Chickens. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 235.
https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00235

35. Kurata S., Hiradate Y., Umezu K., Hara K., Tanemura K. Capacitation of mouse sperm is modulated by gamma-aminobutyric acid (GABA) concentration. *Journal of Reproduction and Development*. 2019; 65(4): 327–334.
https://doi.org/10.1262/jrd.2019-008

10. Konopleva A.P., Efimov D.N., Baykovskaya E.Yu., Emanuylova Zh.V. The Reproductive Performance in Cornish Cocks of SM5 Line of Smena-9 Broiler Cross at 34-50 Weeks of Age. *Ptitsevodstvo*. 2021; (11): 16–20 (in Russian).
https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-11-16-20

11. Konopleva A.P. The Effective Techniques of Rearing and Management of Cocks of Broiler Crosses in Preparental and Parental Flocks. *Ptitsevodstvo*. 2021; (5): 43–49 (in Russian).
https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-5-43-49

12. Savory C.J., Lariviere J.-M. Effects of qualitative and quantitative food restriction treatments on feeding motivational state and general activity level of growing broiler breeders. *Applied Animal Behaviour Science*. 2000; 69(2): 135–147.
https://doi.org/10.1016/s0168-1591(00)00123-4

13. de Jong I.C., Enting H., van Voorst A., Blokhuis H.J. Do low-density diets improve broiler breeder welfare during rearing and laying? *Poultry Science*. 2005; 84(2): 194–203.
https://doi.org/10.1093/ps/84.2.194

14. Oviedo-Rondón E.O., Hume M.E., Hernández C., Clemente-Hernández S. Intestinal Microbial Ecology of Broilers Vaccinated and Challenged with Mixed *Eimeria* Species, and Supplemented with Essential Oil Blends. *Poultry Science*. 2006; 85(5): 854–860.
https://doi.org/10.1093/ps/85.5.854

15. Sugiharto S. Role of nutraceuticals in gut health and growth performance of poultry. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2016; 15(2): 99–111.
https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.06.001

16. Liu H.N. *et al.* Effects of dietary supplementation of quercetin on performance, egg quality, cecal microflora populations, and antioxidant status in laying hens. *Poultry Science*. 2014; 93(2): 347–353.
https://doi.org/10.3382/ps.2013-03225

17. Merciera Y., Francesch M., Badiola I., Pérez De Rozas A., Geraert P.-A. Effects of Methionine Sources and NSP Enzymes on Broiler Gut Microflora. *16th European Symposium on Poultry Nutrition. Proceedings*. Strasbourg. 2007; 332.

18. Stadtman E.R., Van Remmen H., Richardson A., Wehr N.B., Levine R.L. Methionine oxidation and aging. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics*. 2005; 1703(2): 135–140.
https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2004.08.010

19. Clarke S.F. *et al.* The gut microbiota and its relationship to diet and obesity. *New insights*. *Gut Microbes*. 2012; 3(3): 186–202.
https://doi.org/10.4161/gmic.20168

20. van Der Wielen P.W.J.J., Biesterveld S., Notermans S., Hofstra H., Urlings B.A., van Knapen F. Role of Volatile Fatty Acids in Development of the Cecal Microflora in Broiler Chickens during Growth. *Applied and Environmental Microbiology*. 2000; 66(6): 2536–2540.
https://doi.org/10.1128/AEM.66.6.2536-2540.2000

21. De Vadder F. *et al.* Microbiota-Generated Metabolites Promote Metabolic Benefits via Gut-Brain Neural Circuits. *Cell*. 2014; 156(1–2): 84–96.
https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.12.016

22. Stanley D. *et al.* Identification of chicken intestinal microbiota correlated with the efficiency of energy extraction from feed. *Veterinary Microbiology*. 2013; 164(1–2): 85–92.
https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2013.01.030

23. Beam A., Clinger E., Hao L. Effect of Diet and Dietary Components on the Composition of the Gut Microbiota. *Nutrients*. 2021; 13(8): 2795.
https://doi.org/10.3390/nu13082795

24. Erridge C., Attina T., Spickett C.M., Webb D.J. A high-fat meal induces low-grade endotoxemia: evidence of a novel mechanism of postprandial inflammation. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2007; 86(5): 1286–1292.
https://doi.org/10.1093/ajcn/86.5.1286

25. Ghoshal S., Witta J., Zhong J., de Villiers W., Eckhardt E. Chylomicrons promote intestinal absorption of lipopolysaccharides. *Journal of Lipid Research*. 2009; 50(1): 90–97.
https://doi.org/10.1194/jlr.M800156-JLR200

26. Kumar S., Adhikari P., Oakley B., Kim W.K. Changes in cecum microbial community in response to total sulfur amino acid (TSAA: DL-methionine) in antibiotic-free and supplemented poultry birds. *Poultry Science*. 2019; 98(11): 5809–5819.
https://doi.org/10.3382/ps/pez380

27. Kollarcikova M. *et al.* Use of 16S rRNA gene sequencing for prediction of new opportunistic pathogens in chicken ileal and cecal microbiota. *Poultry Science*. 2019; 98(6): 2347–2353.
https://doi.org/10.3382/ps/pey594

28. Murphy E.C., Frick I.-M. Gram-positive anaerobic cocci — commensals and opportunistic pathogens. *FEMS Microbiology Reviews*. 2013; 37(4): 520–553.
https://doi.org/10.1111/1574-6976.12005

29. Yan L. *et al.* Effects of corn particle size on growth performance, gastrointestinal development, carcass indices and intestinal microbiota of broilers. *Poultry Science*. 2022; 101(12): 102205.
https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102205

30. Dai D., Qi G.-h., Wang J., Zhang H.-j., Qiu K., Wu S.-g. Intestinal microbiota of layer hens and its association with egg quality and safety. *Poultry Science*. 2022; 101(9): 102008.
https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102008

31. Liu T., Tang J., Feng F. Medium-chain α-monoglycerides improves productive performance and egg quality in aged hens associated with gut microbiota modulation. *Poultry Science*. 2020; 99(12): 7122–7132.
https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.07.049

32. Feng J. *et al.* Dietary oregano essential oil supplementation improves intestinal functions and alters gut microbiota in late-phase laying hens. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021; 12: 72.
https://doi.org/10.1186/s40104-021-00600-3

33. Liu G. *et al.* Effects of Sex and Diet on Gut Microbiota of Farmland-Dependent Wintering Birds. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 587873.
https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.587873

34. Kers J.G., Velkers F.C., Fischer E.A.J., Hermes G.D.A., Stegeman J.A., Smidt H. Host and Environmental Factors Affecting the Intestinal Microbiota in Chickens. *Frontiers in Microbiology*. 2018; 9: 235.
https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00235

35. Kurata S., Hiradate Y., Umezu K., Hara K., Tanemura K. Capacitation of mouse sperm is modulated by gamma-aminobutyric acid (GABA) concentration. *Journal of Reproduction and Development*. 2019; 65(4): 327–334.
https://doi.org/10.1262/jrd.2019-008

36. Fujinoki M., Takei G.L γ-Aminobutyric acid suppresses enhancement of hamster sperm hyperactivation by 5-hydroxytryptamine. *Journal of Reproduction and Development*. 2017; 63(1): 67–74. https://doi.org/10.1262/jrd.2016-091

ОБ АВТОРАХ

Елена Александровна Йылдырым[1]
доктор биологических наук
deniz@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-5846-5105
Лариса Александровна Ильина[1]
доктор биологических наук
ilina@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0003-2789-4844
Георгий Юрьевич Лаптев[1]
доктор биологических наук
laptev@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-8795-6659
Валентина Анатольевна Филиппова[1]
биотехнолог
filippova@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0001-8789-9837
Андрей Валерьевич Дубровин[1]
кандидат ветеринарных наук
dubrowin.a.v@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-8424-4114
Дарья Георгиевна Тюрина[1]
кандидат экономических наук
tiurina@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0001-9001-2432
Ксения Андреевна Калиткина[1]
биотехнолог
ksenya.k.a@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-9541-6839
Алиса Сергеевна Дубровина[1]
биотехнолог
dasvet@biotrof.ru
https://orcid.org/0009-0005-1879-7497
Екатерина Сергеевна Пономарева[1]
биотехнолог
kate@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-4336-8273
Владимир Иванович Фисинин[2]
академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, научный руководитель
https://orcid.org/0000-0003-0081-6336
Иван Афанасьевич Егоров[2]
академик РАН, доктор биологических наук, профессор
https://orcid.org/0000-0001-9122-9553

Татьяна Анатольевна Егорова[2]
доктор сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научно-исследовательской работе
eta164@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-5102-2248
Вардгес Агавардович Манукян[2]
доктор сельскохозяйственных наук,
главный научный сотрудник, заведующий отделом питания птицы
manukyan@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0003-4564-4427
Татьяна Николаевна Ленкова[2]
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ученый секретарь
dissovet@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0001-8391-5000
Ольга Николаевна Дегтярева[2]
кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
fncvnitip@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7243-7381
Мария Сергеевна Тишенкова[2]
младший научный сотрудник
tishenkova.m@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2911-5640
Екатерина Сергеевна Демидова[2]
младший научный сотрудник
mixalysha@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0108-2218
Лев Михайлович Кашпоров[2]
специалист
lev-lud2@live.ru
https://orcid.org/0009-0000-5100-4843
Виктория Евгеньевна Пащенко[2]
аспирант, младший научный сотрудник
viktoriia_pashchenko@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7484-196X

[1] ООО «БИОТРОФ+»,
бульвар Загребский, 19/1, Санкт-Петербург, 192284, Россия
[2] Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»
ул. Птицеградская, 10, Сергиев Посад, 141311, Россия

36. Fujinoki M., Takei G.L γ-Aminobutyric acid suppresses enhancement of hamster sperm hyperactivation by 5-hydroxytryptamine. *Journal of Reproduction and Development*. 2017; 63(1): 67–74. https://doi.org/10.1262/jrd.2016-091

ABOUT THE AUTHORS

Elena Alexandrovna Yildirim[1]
Doctor of Biological Sciences
deniz@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-5846-5105
Larisa Alexandrovna Ilina[1]
Doctor of Biological Sciences
ilina@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0003-2789-4844
George Yurievich Laptev[1]
Doctor of Biological Sciences
laptev@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-8795-6659
Valentina Anatolievna Filippova[1]
Biotechnologist
filippova@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0001-8789-9837
Andrey Valerievich Dubrovin[1]
Candidate of Veterinary Sciences
dubrowin.a.v@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-8424-4114
Darya Georgievna Tyurina[1]
Candidate of Economic Sciences
tiurina@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0001-9001-2432
Xenia Andreevna Kalitkina[1]
Biotechnologist
ksenya.k.a@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-9541-6839
Alisa Sergeevna Dubrovina[1]
Biotechnologist
dasvet@biotrof.ru
https://orcid.org/0009-0005-1879-7497
Ekaterina Sergeevna Ponomareva[1]
Biotechnologist
kate@biotrof.ru
https://orcid.org/0000-0002-4336-8273
Vladimir Ivanovich Fisinin[2]
Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Scientific Supervisor
https://orcid.org/0000-0003-0081-6336
Ivan Afanasievich Egorov[2]
Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor
https://orcid.org/0000-0001-9122-9553
Tatiana Anatolievna Egorova[2]
Doctor of Agricultural Sciences, Deputy Director for Research
eta164@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-5102-2248

Vardges Agavardovich Manukyan[2]
Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of Poultry Nutrition
manukyan@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0003-4564-4427
Tatyana Nikolaevna Lenkova[2]
Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Scientific Secretary
dissovet@vnitip.ru
https://orcid.org/0000-0001-8391-5000
Olga Nikolaevna Degtyareva[2]
Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
fncvnitip@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7243-7381
Maria Sergeevna Tishenkova[2]
Junior Researcher
tishenkova.m@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-2911-5640
Ekaterina Sergeevna Demidova[2]
Junior Researcher
mixalysha@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0108-2218
Lev Mikhailovich Kashporov[2]
Specialist
lev-lud2@live.ru
https://orcid.org/0009-0000-5100-4843
Victoria Evgenievna Pashchenko[2]
Graduate Student, Junior Researcher
viktoriia_pashchenko@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-7484-196X

[1] BIOTROF+ Ltd,
19/1 Zagrebskiy Ave., Saint-Petersburg, 1192284, Russia
[2] All-Russian Research and Technological Institute of Poultry of Russian Academy of Sciences,
10 Ptitsegradskaya Str., Sergiev Posad, 141311, Russia