

УДК 619:616.98:579.852.13

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90

Е.А. Йылдырым^{1,2} ✉, Л.А. Ильина^{1,2},
Г.Ю. Лаптев¹, В.А. Филиппова^{1,2},
В.А. Заикин¹, Е.С. Пономарева¹,
В.И. Фисинин³, И.А. Егоров³,
Т.А. Егорова³, В.А. Манукян³,
Т.Н. Ленкова³, О.Н. Дегтярева³,
М.С. Тищенко³, Е.С. Демидова³,
Л.М. Кашпоров³, В.Е. Пашченко³

¹ООО «Биотроф+», Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Сергиев Посад, Московская обл., Россия

✉ deniz@biotrof.ru

Поступила в редакцию: 16.06.2025

Одобрена после рецензирования: 11.09.2025

Принята к публикации: 26.09.2025

© Йылдырым Е.А., Ильина Л.А., Лаптев Г.Ю., Филиппова В.А., Тюрина Д.Г., Соколова К.А., Заикин В.А., Пономарева Е.С., Фисинин В.И., Егоров И.А., Егорова Т.А., Манукян В.А., Ленкова Т.Н., Дегтярева О.Н., Тищенко М.С., Демидова Е.С., Кашпоров Л.М., Пашченко В.Е.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90

Elena A. Yildirim^{1,2} ✉, Larisa A. Ilina^{1,2},
George Yu. Laptev¹,
Valentina A. Filippova^{1,2},
Daria G. Tyurina¹, Ksenia A. Sokolova^{1,2},
Vasily A. Zaikin¹,
Ekaterina S. Ponomareva¹,
Vladimir I. Fisinin³, Ivan A. Egorov³,
Tatiana A. Egorova³,
Vardges A. Manukyan³,
Tatiana N. Lenkova³, Olga N. Degtyareva³,
Maria S. Tishenkova³,
Ekaterina S. Demidova³,
Lev M. Kashporov³,
Viktoria E. Pashchenko³

¹"Biotrof+" Ltd, Saint-Petersburg, Russia

²Saint-Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Saint-Petersburg, Russia

³Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute", Sergiev Posad, Moscow region, Russia

✉ deniz@biotrof.ru

Received by the editorial office: 16.06.2025

Accepted in revised: 11.09.2025

Accepted for publication: 26.09.2025

© Yildirim E.A., Ilina L.A., Laptev G.Yu., Filippova V.A., Tyurina D.G., Sokolova K.A., Zaikin V.A., Ponomareva E.S., Fisinin V.I., Egorov I.A., Egorova T.A., Manukyan V.A., Lenkova T.N., Degtyareva O.N., Tishenkova M.S., Demidova E.S., Kashporov L.M., Pashchenko V.E.

L-карнитин-индуцированные изменения в профиле экспрессии ключевых генов у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» с учетом половых различий

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Исследование влияния L-карнитина на продуктивность и экспрессию генов цыплят-бройлеров с учетом половых различий актуально для оптимизации кормления и повышения эффективности производства.

Цель исследования — изучение влияния L-карнитина в различных дозировках на экспрессию ключевых генов у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9».

Методы. Были сформированы группы: I (контрольная) получала основной рацион (ОР), II (опытная) — ОР + L-карнитин в дозировке 30 г/т корма, III (опытная) — ОР + L-карнитин в дозировке 60 г/т корма, IV (опытная) — ОР + L-карнитин в дозировке 90 г/т корма.

Результаты. Добавление в корм 60–90 г/т L-карнитина (III и IV опытные группы) увеличивало прирост живой массы петушков (на 115 г и 119 г соответственно) по сравнению с контрольной группой (I) ($p \leq 0,05$). Аналогичные данные были получены для курочек. У петушков в III группе экспрессия *AvBD9* была повышена в 54,4 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с контролем, а в IV группе экспрессия *AvBD10* увеличилась в 10,3 раза ($p \leq 0,05$). У курочек L-карнитин ингибировал экспрессию *AvBD9* (снижение в 7 раз для II группы, $p \leq 0,05$) и *AvBD10* (снижение в 5,7 раза для II группы, $p \leq 0,05$). Повышалась экспрессия *IL6* (в 2,3 раза в III группе и 1,9 раза в IV группе, $p \leq 0,05$) и *IL8L2* (максимально в 3,3 раза во II группе, $p \leq 0,05$). L-карнитин оказывает комплексное воздействие на молекулярные процессы в слепых отростках, однако эти эффекты могут отличаться в зависимости от пола птицы.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, L-карнитин, экспрессия ключевых генов, кросс «Смена 9», количественная ПЦР с обратной транскрипцией

Для цитирования: Йылдырым Е.А. и др. L-карнитин-индуцированные изменения в профиле экспрессии ключевых генов у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» с учетом половых различий. *Аграрная наука*. 2025; 399(10): 81–90.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90>

L-carnitine-induced changes in the expression profile of key genes in broiler chickens of the “Smena 9” cross, taking into account sex differences

ABSTRACT

Relevance. The study of the effect of L-carnitine on the productivity and gene expression of broiler chickens, taking into account sex differences, is relevant for optimizing feeding and increasing production efficiency.

The aim of the study was to study the effect of L-carnitine in various dosages on the expression of key genes in broiler chickens of the “Smena 9” cross.

Methods. Groups were formed: I (control) received the basic ration (RR), II (experimental) — RR + L-carnitine at a dosage of 30 g/t of feed, III (experimental) — RR + L-carnitine at a dosage of 60 g/t of feed, IV (experimental) — RR + L-carnitine in a dosage of 90 g / ton of feed.

Results. The addition of 60–90 g/t of L-carnitine to the feed (experimental groups III and IV) increased the live weight gain of roosters (by 115 g and 119 g, respectively) compared with the control group (I) ($p < 0.05$). Similar data was obtained for chickens. In the cockerels in group III, the expression of *AvBD9* was increased by 54.4 times ($p < 0.05$) compared with the control, and in group IV, the expression of *AvBD10* increased by 10.3 times ($p < 0.05$). In chickens, L-carnitine inhibited the expression of *AvBD9* (a decrease of 7 times for group II, $p < 0.05$) and *AvBD10* (a decrease of 5.7 times for group II, $p < 0.05$). The expression of *IL6* increased (2.3-fold in group III and 1.9-fold in group IV, $p < 0.05$) and *IL8L2* (maximum 3.3-fold in group II, $p < 0.05$). L-carnitine has a complex effect on molecular processes in the blind processes, however, these effects may differ depending on the sex of the bird.

Key words: broiler chickens, L-carnitine, expression of key genes, cross “Smena 9”, quantitative PCR with reverse transcription

For citation: Yildirim E.A. *et al.* L-carnitine-induced changes in the expression profile of key genes in broiler chickens of the “Smena 9” cross, taking into account sex differences. *Agrarian science*. 2025; 399(10): 81–90 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-399-10-81-90>

Введение/Introduction

В условиях современных вызовов, связанных с необходимостью обеспечения продовольственной безопасности и импортозамещения, особое значение приобретают развитие отечественного птицеводства и создание конкурентоспособных кроссов цыплят-бройлеров. Кросс цыплят-бройлеров «Смена 9» — это перспективная разработка российских селекционеров, демонстрирующая хорошие показатели продуктивности и адаптивности к местным условиям выращивания [1], что делает его привлекательной альтернативой импортным аналогам.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности выращивания скота и птицы является оптимизация рациона питания с включением биологически активных веществ, например L-карнитина. L-карнитин, играющий ключевую роль в транспорте жирных кислот в митохондриях для бета-окисления [2], широко используется в рационах цыплят-бройлеров с целью улучшения роста, повышения качества мяса и снижения жировых отложений. Исследования подтверждают положительное влияние L-карнитина на различные аспекты метаболизма цыплят-бройлеров, включая липидный обмен, энергетический баланс и антиоксидантную защиту [3].

Однако, несмотря на обширные данные о физиологических эффектах L-карнитина, молекулярные механизмы его действия, особенно в контексте генетической регуляции, изучены недостаточно полно. На зарубежных кроссах цыплят-бройлеров отмечали влияние данного биологически активного вещества на транскрипционный профили. Так, V. Mohammadi и соавт. [4] изучали влияние добавления L-карнитина в рацион петухов кросса Ross 308 на экспрессию отдельных генов, связанных с апоптозом, а также на уровни мРНК десатураз и элонгаз в яйцах петухов.

Исследователи обнаружили, что добавление L-карнитина увеличивает экспрессию генов *Elovl5* и *Fads2*, которые участвуют в метаболизме длинноцепочечных жирных кислот. Тем не менее генетический потенциал и физиологические особенности кросса «Смена 9» могут обуславливать специфические ответы на включение L-карнитина в рацион. Вполне возможно, что эффекты L-карнитина могут зависеть от кросса, возраста птицы, дозы и других факторов.

Известно, что состав рациона оказывает значительное влияние на экспрессию генов у цыплят-бройлеров, регулируя процессы роста, развития и метаболизма [5]. Влияние биологически активных добавок на транскрипционный профиль генов открывает новые возможности для оптимизации продуктивности и улучшения качества продукции птицеводства. В связи с этим изучение влияния L-карнитина на экспрессию ключевых генов у цыплят-бройлеров представляет собой актуальную и перспективную задачу. Кроме

того, учитывая известный половой диморфизм в росте и метаболизме цыплят-бройлеров [6], необходимо учитывать возможные различия в экспрессии генов у петушков и курочек при воздействии L-карнитина.

Предварительные исследования, проведенные авторами на курах и петухах исходных линий кросса «Смена 9» [7], показали, что использование комбикормов с пониженной (на 5%) питательностью по лизину, метионину и обменной энергии с применением сульфата лизина и гидроксиданалога метионина позволяет поддерживать продуктивность родительского стада на уровне рационов рекомендуемой питательности. В настоящее время комплексные исследования влияния L-карнитина на зоотехнические, физиологические и биохимические показатели, а также на экспрессию генов у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» при раздельном выращивании по полу и использовании комбикормов с пониженной питательностью по лизину, метионину и обменной энергии отсутствуют. Исследования в этом направлении позволят глубже понять молекулярные механизмы действия L-карнитина, оптимизировать стратегию его применения в рационах цыплят-бройлеров и повысить эффективность производства мяса птицы в условиях импортозамещения.

Цели данного исследования — изучение влияния L-карнитина в различных дозировках на экспрессию ключевых генов, регулирующих антиоксидантную защиту (*SOD1*), иммунный ответ (*AvBD1*, *AvBD2*, *AvBD9*, *AvBD10*), воспаление и апоптоз (*IL6*, *IL8L2*, *PTGS2*, *Casp6*), мясную продуктивность (*SGLT2*) и барьерную функцию эпителия желудочно-кишечного тракта (*MUC2*) у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» при использовании рационов с пониженной (на 5%) питательностью по лизину, метионину и обменной энергии, а также выявление возможных половых различий в характере этих изменений.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В 2024 году на базе Селекционно-генетического центра «Загорское ЭПХ» (Московская обл., Россия) были проведены два эксперимента с цыплятами-бройлерами кросса «Смена 9».

Эксперименты выполняли раздельно для петушков (опыт 1-й) и курочек (опыт 2-й) с 1-го по 35-й день жизни. Птицу содержали в клеточных батареях типа Big Dutchman (Big Dutchman AG, Германия) — по 36 голов в каждой экспериментальной группе. Формирование групп осуществляли по принципу аналогов с учетом возраста, живой массы и клинического состояния птицы (табл. 1).

Условия содержания птицы (плотность посадки, световой режим, температурный режим, влажность, фронт кормления и поения) соответствовали зоотехническим нормативам для кросса «Смена 9»¹ и были идентичными для всех экспериментальных групп.

Таблица 1. Схема формирования экспериментальных групп с дифференциацией по полу

Table 1. Scheme of formation of experimental groups with differentiation by gender

Группа	Особенности кормления
I (контрольная)	ОР с дефицитом лизина (в форме сульфата) на 5%, метионина (в форме жидкого гидроксианалога) на 5% и обменной энергии на 5% от рекомендуемых значений для данного кросса
II (опытная)	ОР + L-карнитин в дозировке 30 г/т корма
III (опытная)	ОР + L-карнитин в дозировке 60 г/т корма
IV (опытная)	ОР + L-карнитин в дозировке 90 г/т корма

Кормление осуществляли полнорационными рассыпными комбикормами с дефицитом лизина (в форме сульфата) на 5%, метионина (в форме жидкого гидроксианалога) на 5% и обменной энергии на 5% от рекомендуемых значений для данного кросса. Рационы были унифицированы для петушков и курочек. Применяли схему кормления по периодам: с 1-го по 14-й день — комбикорм «Старт»; с 15-го по 21-й день — комбикорм «Рост»; с 22-го по 35-й день — комбикорм «Финиш».

Состав и питательная ценность использованных комбикормов представлены в таблице 2.

Уровни добавки в комбикорма всех биологически активных веществ обеспечивали за счет использования витаминно-минерального премикса, рекомендованного для кросса¹.

Эксперимент проводили с соблюдением принципов, изложенных в Европейской конвенции по охране позвоночных животных², применяемых в экспериментальных и других научных целях (ETS № 123, Страсбург, 1986)².

Условия содержания птиц соответствовали зоотехническим требованиям, предъявляемым к выращиванию цыплят-бройлеров.

Плотность посадки, параметры освещения, температурный и влажностный режим, а также доступность корма и воды обеспечивались согласно рекомендациям, разработанным для кросса «Смена 9», на протяжении всего периода выращивания³.

В ходе эксперимента осуществляли контроль за сохранностью поголовья и динамикой живой массы цыплят-бройлеров. Индивидуальное взвешивание всех птиц в каждой группе проводили регулярно.

По завершении эксперимента проводили эвтаназию птиц методом декапитации с последующим отбором образцов тканей слепой кишки для анализа экспрессии генов.

Оценку уровня мРНК проводили с использованием полимеразной цепной реакции в реальном времени с обратной транскрипцией (qRT-PCR).

Таблица 2. Структура и питательность комбикормов для цыплят-бройлеров

Table 2. Structure and nutritional value of compound feeds for broiler chickens

Компонент	Период выращивания (дни жизни)		
	старт (0–14)	рост (15–21)	финиш (22–35)
Кукуруза, СП 8,5%	15,00	15,00	15,00
Пшеница, СП 11,5%	43,99	42,31	45,90
Соевый шрот, СП 44%	21,58	17,82	14,67
Соя полножирная, СП 34%	10,00	10,00	10,00
Мука рыбная, СП 67%	4,00	2,00	–
Жмых подсолнечника, СП 33,5%	–	5,55	6,25
Масло соевое	1,74	3,49	4,07
Известняк, Са 36%	1,02	1,23	1,16
Монокальцийфосфат	1,16	1,17	1,28
Сульфат лизина	0,27	0,26	0,39
Родимет	0,30	0,23	0,24
Треонин	0,10	0,05	0,10
Соль	0,26	0,31	0,36
Премикс витаминно-минеральный	0,5	0,5	0,05
Холин-хлорид	0,08	0,08	0,08
Итого	100	100	100
В 100 г комбикорма содержится, %			
Обменная энергия, ккал	295	305	310
Обменная энергия, МДж/кг	12,36	12,78	12,99
Сырой протеин	22,35	20,97	19,04
Сырая клетчатка	3,77	4,50	4,50
Кальций	1,00	1,00	0,90
Фосфор общий	0,76	1,74	0,71
Фосфор усвояемый	0,45	0,42	0,40
Натрий	0,16	0,16	0,16
Хлор	0,22	0,23	0,25
Лизин усвояемый	1,17	1,04	0,97
Метионин усвояемый	0,58	0,51	0,48
Мет.+ цист. усвояемый	0,88	0,80	0,76
Треонин усвояемый	0,77	0,67	0,65
Триптофан усвояемый	0,24	0,23	0,21

Выделение тотальной РНК из тканей осуществляли с применением набора Aurum™ Total RNA Mini Kit (Bio-Rad, Hercules, США) в соответствии с протоколом производителя. Обратную транскрипцию РНК и синтез комплементарной ДНК (кДНК) проводили с использованием набора iScript™ Reverse Transcription Supremix (Bio-Rad, Hercules, США).

Для оценки экспрессии целевых генов были выбраны праймеры, последовательности которых приведены в таблице 3.

В качестве эндогенного контроля экспрессии использовали праймеры к гену ACTB, кодирующему белок бета-актин. Единица измерения экспрессии ключевых генов — количество молекул РНК (например, мРНК) в образце. Результаты были получены с использованием количественной ПЦР (qPCR).

¹Ефимов Д.Н. и др. Руководство по работе с птицей мясного кросса «Смена 9» с аутосексной материнской родительской / под ред. В.И. Фисинина и Д.Н. Ефимова. Сергиев Посад. 2021; 95.

²Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (Страсбург, 18 марта 1986 года) (электронный ресурс). — URL: <https://base.garant.ru/4090914/>

³Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника / под общ. ред. В.И. Фисинина. Сергиев Посад: ВНИТИП. 2013.

Таблица 3. Олигонуклеотидные праймеры, использованные в qRT-PCR для оценки уровня экспрессии генов у цыплят-бройлеров кросса «Смена 9»

Table 3. Oligonucleotide primers used in qRT-PCR to assess the level of gene expression in broilers chicken of the «Smena 9» cross

Характеризуемый ген (функциональная категория)	Нуклеотидные последовательности прямого (F) и обратного (R) праймеров для количественной ПЦР в реальном времени (qRT-PCR) (5' → 3')
Гены, участвующие в антиоксидантной защите	
SOD1, супероксиддисмутаза 1	F: CGGGCCAGTAAAGGTTACTGGAA, R: TGTTGTCTCCAAATTCATGCACATG
Гены, модулирующие иммунный ответ	
AvBD1, β-дефензин 1	F: CCGTTTCTGTCAACCGTCA, R: CCTTTGCTAAATAATCCCTTC
AvBD2, β-дефензин 2	F: GCACTCCAGGTTTCTCCA, R: GGCGTCCGACTTTGATTA
AvBD9, птичий бета-дефензин 9	F: AACACCGTCAGGCATCTTCACA, R: CGTCTCTCTGGCTGTAAGCTGGA
AvBD10, птичий бета-дефензин 9	F: GCTCTTCGCTGTTCTCCTCT, R: CCAGATGATGGTGAAGGTG
AvBD11, птичий бета-дефензин 11	F: AGTCTGCAATTCGTTAGAGGCG, R: GGATGTGGTTTCCAAGGGTTTA
Гены, ассоциированные с воспалением и апоптозом	
IL6, интерлейкин 6	F: AGGACGAGATGTGCAAGAAGTTC, R: TTGGGCAGGTTGAGGTTGTT
IL8L2 (IL8), интерлейкин 8	F: GGAAGAGAGGTGTGCTTGGA, R: TAACATGAGGCACCGATGTG
PTGS2, простагландин-эндопероксидсинтаза	F: TCGAGATCACACTTGATTGACA, R: TTTGTGCCTTGTGGGTCAG
Casp6, каспаза 6	F: CAGAGGAGACAAGTGCCAGA, R: CCAGGAGCCGTTTACAGTTT
Ген, связанный с мясной продуктивностью	
SGLT2, натрий-глюкозного котранспортер 2-го типа	F: ACCAAGTACTGCAAGGCGAA, R: TGAGGGTTCTCTTCTGGCT
Ген, детерминирующий барьерную функцию эпителия ЖКТ	
MUC2, муцин 2	F: CTGGCTCCTTGTGGCTCCTC, R: AGCTGCATGACTGGAGACAACCTG

Данные об уровнях экспрессии генов были нормализованы относительно контрольных генов и представлены в виде относительных уровней экспрессии относительно контрольной группы. Результаты представлены в относительных единицах (у. е.), отражающих кратность отклонения от уровня экспрессии соответствующего гена в контрольной группе. Снижение экспрессии гена в опытной группе по сравнению с контролем обозначалось отрицательными значениями, увеличение — положительными.

Амплификацию проводили на детектирующем амплификаторе ДТлайт («ДНК-Технология», Россия) с использованием реакционной смеси SsoAdvanced™ Universal SYBR® Green Supermix (Bio-Rad, США). Программа амплификации включала: начальную денатурацию при 95 °C в течение 5 мин.; 40 циклов, состоящих из денатурации при 95 °C (30 сек.), отжига при 60 °C (30 сек.) и элонгации при 70 °C (30 сек.).

Для математической и статистической обработки полученных данных применяли многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) в Microsoft Excel XP/2003 и среде R-Studio v. 1.1.453 (<https://rstudio.com>, США). Сравнение средних значений

проводили с помощью критерия Тьюки (Honestly Significant Difference, HSD), реализованного функцией TukeyHSD в пакете R Stats Package (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 1 отражена динамика прироста живой массы петушков и курочек кросса «Смена 9» в зависимости от дозировки L-карнитина в комбикорме.

Введение 60–90 г/т корма L-карнитина в рацион положительно сказалось на продуктивности птицы. Так, к 35-суточному возрасту петушки, получавшие L-карнитин в составе комбикорма (III и IV опытные группы), демонстрировали статистически значимо ($p \leq 0,05$) больший прирост живой массы (115 г и 119 г соответственно) по сравнению с I (контрольной) группой. Аналогичная тенденция наблюдалась и у курочек: в III и IV опытных группах прирост живой массы составил 104 г и 109 г соответственно, что также статистически значимо ($p \leq 0,05$) отличалось от контрольных показателей.

Ранее Rabie M.H. и соавт. [8] обнаружили, что добавление в рацион цыплят-бройлеров L-карнитина в количестве от 20 до 60 мг/кг улучшило показатели роста, тогда как Murali P. и соавт. [3] показано, что добавление L-карнитина в рацион цыплят-бройлеров не повлияло на показатели роста, усвоение питательных веществ и азотный баланс у цыплят-бройлеров.

На рисунке 2 продемонстрировано влияние различных дозировок L-карнитина в составе комбикорма на экспрессию ключевых генов у петушков кросса «Смена 9».

Аналогичные данные для курочек представлены на рисунке 3.

Стоит отметить, что слепые отростки у птиц играют важную роль в пищеварении и иммунной системе, представляя собой место активной ферментации и взаимодействия с микробиотой [9].

Рис. 1. Живая масса петушков и курочек кросса «Смена 9» в 35 суток под влиянием различных дозировок L-карнитина: I–IV — опытные группы, * при $p \leq 0,05$ при сравнении опытных групп с I (контрольной) согласно критерию Стьюдента

Fig. 1. Live weight of roosters and chickens of the «Shift 9» cross at 35 days under the influence of various dosages of L-carnitine: I–IV — experimental groups, * at $p < 0.05$ when comparing experimental groups with I (control) according to the Student's criterion

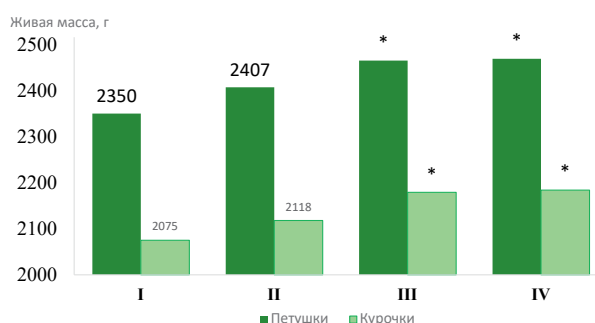
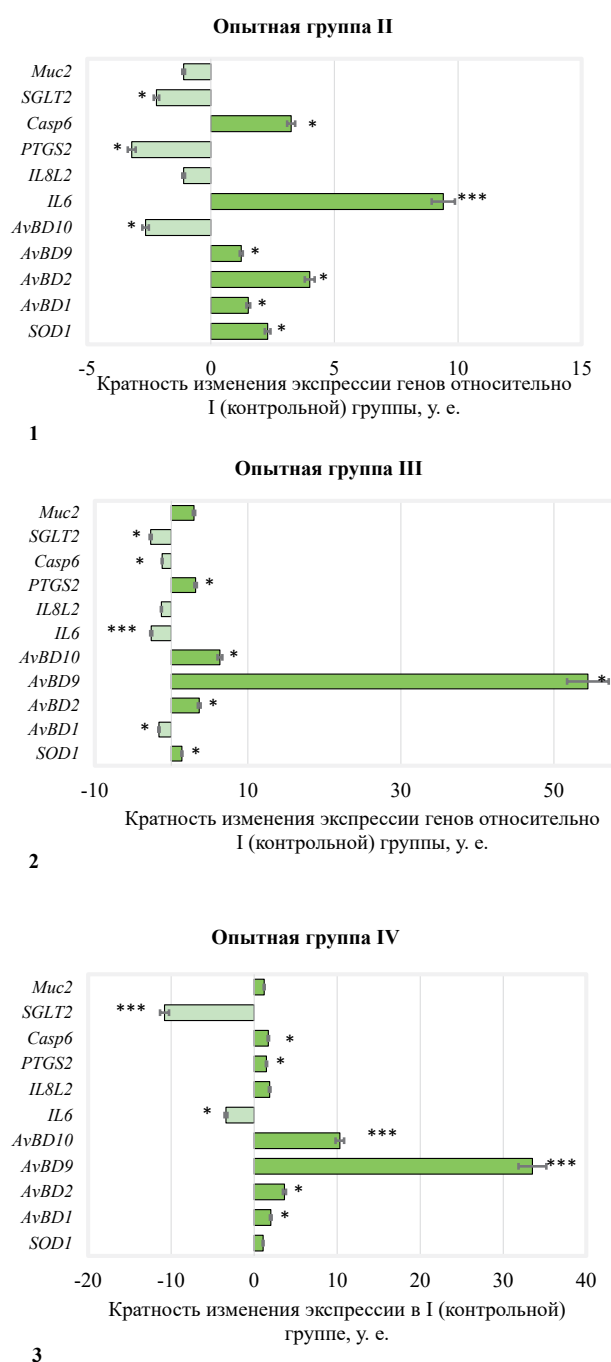


Рис. 2. Влияние различных дозировок L-карнитина в комбикорме на экспрессию ключевых генов у петушков кросса «Смена 9»: 1 — во II опытной группе, 2 — в III опытной группе, 3 — в IV опытной группе; по оси абсцисс отображены изменения в уровне экспрессии генов в II–IV опытных группах по сравнению с I (контрольной) группой, уровень экспрессии генов в которой условно принят за единицу. Отрицательные значения (выделены черным цветом) указывают на снижение экспрессии гена в опытных группах, а положительные значения (выделены зеленым цветом) — на увеличение. Значения отражают кратность отклонения от уровня экспрессии в контрольной группе

Fig. 2. The effect of different dosages of L-carnitine in compound feed on the expression of key genes in the “Smena 9” cross cockerels: 1 — in the II experimental group, 2 — in the III experimental group, 3 — in the IV experimental group; the abscissa axis shows changes in the level of gene expression in the II–IV experimental groups compared with the I (control) group, the level of gene expression in which is conventionally assumed to be one. Negative values (highlighted in black) indicate a decrease in gene expression in the experimental groups, while positive values (highlighted in green) indicate an increase. The values reflect the frequency of deviation from the expression level in the control group



Отмечено повышение экспрессии генов анти-микробных пептидов, таких как *AvBD9* и *AvBD10*, особенно в группах с более высокой дозировкой L-карнитина, что указывает на усиление врожденного иммунитета в слепых отростках [10]. Так, в III группе (60 г/т L-карнитина) экспрессия *AvBD9* была повышена в 54,4 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с I (контрольной), а в IV группе (90 г/т L-карнитина) экспрессия *AvBD10* увеличилась в 10,3 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с I (контрольной).

Белки AvBD (авиан бета-дефензины) являются важными компонентами иммунной защиты слизистой оболочки кишечника, обладая широким спектром антимикробной активности против бактерий, вирусов и грибов [11], поэтому увеличение их экспрессии может способствовать поддержанию здорового баланса микробиоты, снижению риска инфекций и улучшению усвоения питательных веществ. С учетом того что слепые отростки являются местом активной ферментации клетчатки, усиление иммунной защиты в этой области может быть особенно важным для поддержания здоровья кишечника [12]. С другой стороны, ингибирование мРНК гена *IL6* (интерлейкина-6) в III и IV группах в 2,6 и 3,4 раза ($p \leq 0,05$) может свидетельствовать о смягчении воспалительных процессов, вызванных, например, дисбактериозом или другими негативными факторами [13].

Интерлейкин-6 является плейотропным цитокином, который может как стимулировать нормальный иммунный ответ, так и участвовать в развитии хронического воспаления. Ранее было показано, что вызванная L-карнитином активация гена *CPT1* предотвращала воспаление за счет снижения воспалительных цитокинов, таких как TNF- α , в сыворотке и печени [15]. Более высокий уровень мРНК *IL6* в настоящем исследовании во II группе (в 9,4 раза выше по сравнению с контролем, $p \leq 0,05$), возможно, связан с дозозависимым эффектом L-карнитина.

Изменения в экспрессии гена *SOD1*, кодирующего супероксиддисмутазу, также заслуживают внимания. Белок SOD1 является ключевым антиоксидантным ферментом, защищающим клетки от повреждения свободными радикалами [14]. Во II группе (30 г/т L-карнитина) экспрессия *SOD1* была усилена в 2,3 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой, в III группе (60 г/т L-карнитина) — в 1,4 раза ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой, а в IV группе — неизменна. Эта тенденция указывает на то, что эффект L-карнитина на экспрессию *SOD1*, по-видимому, наиболее выражен при более низкой дозировке (30 г/т) и снижался с увеличением дозировки. Это может свидетельствовать о дозозависимом, но нелинейном эффекте L-карнитина на антиоксидантную систему в слепых отростках. В целом повышение экспрессии *SOD1* может указывать на то, что L-карнитин стимулирует антиоксидантную защиту в слепых отростках, снижая окислительный стресс и защищая клетки от повреждений,

вызванных воспалением или другими факторами.

Ранее было показано на млекопитающих, что добавление L-карнитина влияет на удаление свободных радикалов и защищает клетки от окислительного стресса [15] за счет повышения активности ферментов каталазы GPX и SOD.

Кроме того, в IV группе на поголовье петушков экспрессия SGLT2 снизилась до 0,09 ($p \leq 0,05$) от уровня контроля. Снижение экспрессии гена SGLT2, кодирующего натрий-глюкозный котранспортер 2, может иметь последствия для метаболизма глюкозы в слепых отростках [16]. Белок SGLT2 участвует в реабсорбции глюкозы в почках, но его роль в кишечнике менее изучена. Снижение экспрессии гена SGLT2 может влиять на доступность глюкозы для микробиоты слепых отростков, что в свою очередь может изменять состав и активность микробиоты.

Экспрессия гена Muc2, кодирующего муцин 2, основного компонента слизистой оболочки кишечника [17], также претерпевала изменения под влиянием L-карнитина. Индукция экспрессии Muc2 в III группе в 3 раза ($p \leq 0,05$) может указывать на усиление защитных свойств слизистой оболочки слепых отростков, что может способствовать поддержанию здоровой среды для микробиоты и улучшению усвоения питательных веществ.

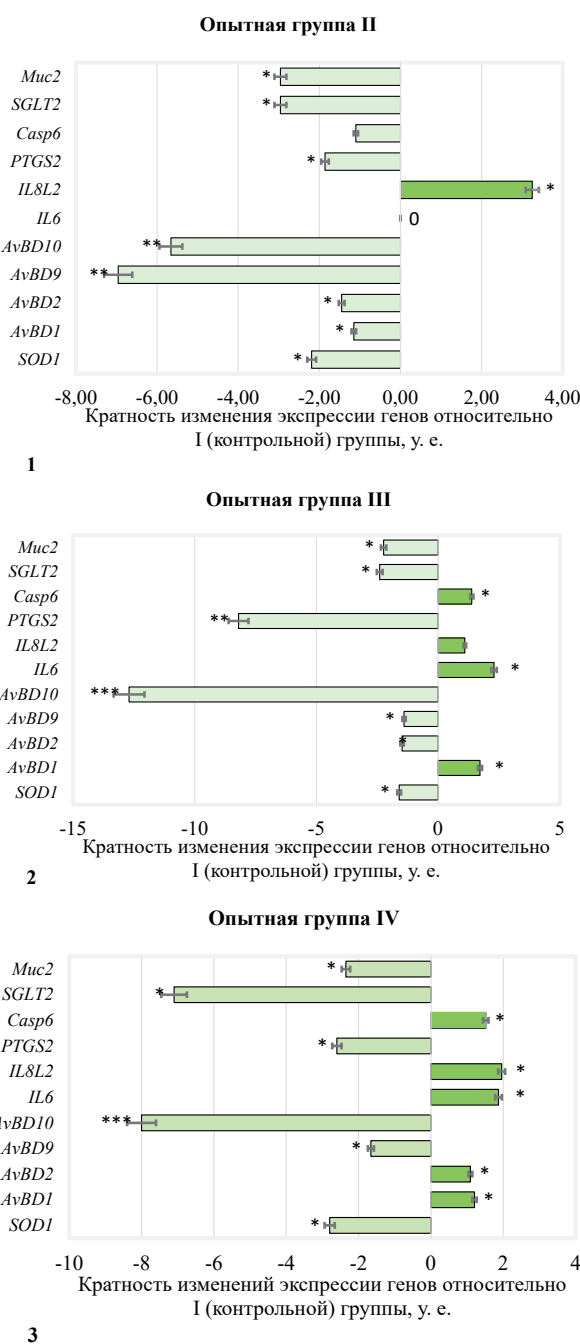
В отличие от петушков, где L-карнитин в высоких дозировках значительно повышал экспрессию AvBD9 и AvBD10, у курочек наблюдалась иная картина (рис. 3). Например, во II группе наблюдалось значительное снижение экспрессии AvBD9 (в 7 раз ниже относительно уровня контроля, $p \leq 0,05$) и AvBD10 (в 5,7 раза ниже от уровня контроля, $p \leq 0,05$). В III и IV группах экспрессия AvBD9 и AvBD10 была сниженной ($p \leq 0,05$). Это может свидетельствовать о различном влиянии L-карнитина на иммунный ответ в слепых отростках у петушков и курочек, возможно, механизмы регуляции экспрессии AvBD генов зависят от пола или гормонального статуса птицы.

В III (в 2,3 раза, $p \leq 0,05$) и IV (в 1,9 раза, $p \leq 0,05$) группах экспрессия IL6 повышалась так же, как и во II группе, в опыте на петушках. Экспрессия IL8L2 повышалась во всех опытных группах курочек по сравнению с контролем, достигая максимальных значений во II группе (в 3,3 раза, $p \leq 0,05$), что может свидетельствовать об активации иммунных клеток и привлечении их в слепые отростки. Отмечено ингибирование экспрессии гена-маркера воспаления PTGS2 (COX-2), особенно в III группе (в 8,2 раза ниже по сравнению с контролем, $p \leq 0,05$), что демонстрирует возможность противовоспалительного эффекта L-карнитина в слепых отростках [18].

Экспрессия гена SOD1, кодирующего супероксиддисмутазу, у курочек была снижена во всех опытных группах по сравнению с контрольной с наиболее выраженным снижением во II группе ($p \leq 0,05$), что отличается от результатов,

Рис. 3. Влияние различных дозировок L-карнитина в комбикорме на экспрессию ключевых генов у курочек кросса «Смена 9»: 1 — во II опытной группе, 2 — в III опытной группе, 3 — в IV опытной группе; по оси абсцисс отображены изменения в уровне экспрессии генов во II–IV опытных группах по сравнению с I (контрольной) группой, уровень экспрессии генов в которой условно принят за единицу. Отрицательные значения (выделены черным цветом) указывают на снижение экспрессии гена в опытных группах, а положительные значения (выделены зеленым цветом) — на увеличение. Значения отражают кратность отклонения от уровня экспрессии в контрольной группе

Fig. 3. The effect of different dosages of L-carnitine in compound feed on the expression of key genes in chickens of the "Smena 9" cross: 1 — in the II experimental group, 2 — in the III experimental group, 3 — in the IV experimental group; the abscissa axis shows changes in the level of gene expression in the II–IV experimental groups compared with the I (control) group, the level of gene expression in which is conventionally assumed to be one. Negative values (highlighted in black) indicate a decrease in gene expression in the experimental groups, while positive values (highlighted in green) indicate an increase. The values reflect the frequency of deviation from the expression level in the control group



полученных на петушках, где экспрессия SOD1 повышалась во II группе. Данный факт может говорить о разном ответе антиоксидантной системы на L-карнитин у петушков и курочек. Экспрессия гена SGLT2, кодирующего натрий-глюкозный котранспортер 2, у курочек была снижена во всех опытных группах, как и у петушков, с наиболее выраженным снижением в IV группе (снижение в 7,1 раза от уровня контроля, $p \leq 0,05$).

Связь между изменениями в экспрессии генов и увеличением живой массы у курочек в III и IV группах может быть опосредована различными механизмами. Например, изменения в экспрессии SGLT2, как уже было сказано, могут влиять на состав микробиоты хيمуса кишечника и эффективность усвоения питательных веществ, что может отражаться на живой массе птицы. Например, снижение экспрессии SGLT2 может привести к изменению доступности глюкозы для микробиоты, что в свою очередь может способствовать росту определенных видов бактерий, способствующих усвоению питательных веществ и увеличению живой массы.

Таким образом, результаты, полученные на курочках, отличаются от результатов, полученных на петушках, что указывает на гендерные различия в ответе на L-карнитин. На взгляд авторов, влияние половых гормонов на экспрессию генов — это одна из наиболее вероятных причин наблюдаемой разницы. Эстрогены у курочек и андрогены у петушков, по всей видимости, оказывают различное воздействие на регуляцию генов, в том числе изученных авторами. Известно, что эстрогены могут влиять на активность иммунных клеток и модуляцию воспалительных процессов, что в свою очередь способно изменять экспрессию AvBD9/10 [19]. Андрогены, с другой стороны, могут оказывать иное влияние на иммунную систему, смещая баланс в сторону определенных иммунных реакций [20]. Более того, половые гормоны напрямую или косвенно воздействуют на метаболические процессы, влияя на усвоение питательных веществ [21] и, как следствие, на экспрессию генов, связанных с транспортом глюкозы (SGLT2) и антиоксидантной защитой (SOD1).

Разница в экспрессии генов может являться следствием метаболических различий между курочками и петушками, которые обусловлены разной скоростью роста и потребностью в энергии. Поэтому влияние L-карнитина на метаболизм липидов и углеводов может проявляться по-разному в зависимости от пола. У петушков, например, повышение экспрессии SOD1 может быть связано с более активным метаболизмом и повышенным уровнем оксидативного стресса, в то время как у курочек снижение экспрессии SOD1 может

отражать иные механизмы регуляции антиоксидантной защиты.

Наконец, состав микробиоты кишечника, на который могут влиять как половые гормоны, так и диетические факторы (включая L-карнитин), играет важную роль в модуляции экспрессии генов хозяина [22]. Различия в микробиоте кишечника курочек и петушков могут влиять на доступность питательных веществ, продукцию короткоцепочечных жирных кислот и модуляцию иммунной системы.

Выводы/Conclusions

Введение L-карнитина в комбикорм с пониженным уровнем обменной энергии, лизина и метионина положительно влияет на продуктивность петушков и курочек кросса «Смена 9», однако эффект и механизмы воздействия различаются в зависимости от дозировки и пола птицы. Добавление L-карнитина в количестве 60–90 г/т корма увеличивает прирост живой массы у петушков и курочек к 35-суточному возрасту, в отличие от дозировки 30 г/т корма. У петушков L-карнитин, вероятно, усиливает врожденный иммунитет, повышая экспрессию антимикробных пептидов (AvBD9, AvBD10) и антиоксидантную защиту (SOD1), а также снижает воспалительные процессы (ингибирование IL6). Снижение экспрессии SGLT2 может влиять на метаболизм глюкозы и микробиоту, а индукция экспрессии Muc2 усиливает защитные свойства слизистой оболочки кишечника. В отличие от петушков, у курочек наблюдается снижение экспрессии антимикробных пептидов AvBD9 и AvBD10 под воздействием L-карнитина, что указывает на половые различия в регуляции иммунного ответа в слепых отростках.

В целом результаты показывают, что L-карнитин оказывает комплексное воздействие на физиологические процессы в слепых отростках, включая иммунитет, антиоксидантную защиту и метаболизм глюкозы, однако эти эффекты могут отличаться в зависимости от пола птицы и дозировки L-карнитина, подчеркивая необходимость дальнейших исследований для оптимизации дозровок L-карнитина и учета половых различий при разработке рационов для птицы.

На основании полученных данных можно предположить, что включение L-карнитина в комбикорма цыплят-бройлеров, особенно в рационах с пониженным уровнем обменной энергии, лизина и метионина, может способствовать компенсации негативных эффектов, связанных с дефицитом этих питательных веществ. Однако для подтверждения данной гипотезы необходимы дальнейшие исследования, направленные на изучение взаимодействия L-карнитина с компонентами рациона и их соотношением.

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».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фисинин В.И. и др. Использование L-карнитина в комбикормах для цыплят-бройлеров кросса «Смена 9» при раздельном по полу выращивании. *Птицеводство*. 2025; 74(3): 35–42. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2025-74-3-35-42>
2. Longo N., Frigeni M., Pasquali M. Carnitine transport and fatty acid oxidation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research*. 2016; 1863(10): 2422–2435. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2016.01.023>
3. Murali P., George S.K., Ally K., Dipu M.T. Effect of L-carnitine supplementation on growth performance, nutrient utilization, and nitrogen balance of broilers fed with animal fat. *Veterinary World*. 2015; 8(4): 482–486. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.482-486>
4. Mohammadi V., Sharifi S.D., Sharafi M., Mohammadi-Sangcheshmeh A., Abedheydari E., Alizadeh A. Dietary L-carnitine affects the expression of genes involved in apoptosis and fatty acid metabolism in rooster testes. *Andrologia*. 2020; 52(11): e13876. <https://doi.org/10.1111/and.13876>
5. El-Katcha M.I. et al. Optimising Growth, Immunity, and Gene Expression in Broiler Chickens Through Dietary Threonine Levels and Oil Inclusion. *Veterinary Medicine and Science*. 2024; 10(6): e70046. <https://doi.org/10.1002/vms3.70046>
6. Müsse J., Louton H., Spindler B., Stracke J. Sexual Dimorphism in Bone Quality and Performance of Conventional Broilers at Different Growth Phases. *Agriculture*. 2022; 12(8): 1109. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081109>
7. Фисинин В.И. и др. Комбикорма с пониженным уровнем обменной энергии, лизина и метионина при использовании разных источников этих аминокислот для мясных петухов и кур кросса «Смена 9». *Птицеводство*. 2023; 72(10): 58–65. <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-10-58-65>
8. Rabie M.H., Szilágyi M., Gippert T., Votisky E., Gerendai D. Influence of Dietary L-Carnitine on Performance and Carcass Quality of Broiler Chickens. *Acta Biologica Hungarica*. 1997; 48(2): 241–252. <https://doi.org/10.1007/BF03543193>
9. Deryabin D. et al. Broiler Chicken Cecal Microbiome and Poultry Farming Productivity: A Meta-Analysis. *Microorganisms*. 2024; 12(4): 747. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040747>
10. Hong Y.H., Song W., Lee S.H., Lillehoj H.S. Differential gene expression profiles of β -defensins in the crop, intestine, and spleen using a necrotic enteritis model in 2 commercial broiler chicken lines. *Poultry Science*. 2012; 91(5): 1081–1088. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01948>
11. Sugiarto H., Yu P.-L. Avian antimicrobial peptides: the defense role of beta-defensins. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2004; 323(3): 721–727. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2004.08.162>
12. Dittoe D.K., Olson E.G., Ricke S.C. Impact of the gastrointestinal microbiome and fermentation metabolites on broiler performance. *Poultry Science*. 2022; 101(5): 101786. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101786>
13. Aliyu M. et al. Interleukin-6 cytokine: An overview of the immune regulation, immune dysregulation, and therapeutic. *International Immunopharmacology*. 2022; 111: 109130. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2022.109130>
14. Ishikawa H. et al. L-Carnitine Prevents Progression of Non-Alcoholic Steatohepatitis in a Mouse Model with Upregulation of Mitochondrial Pathway. *PLoS ONE*. 2014; 9(7): e100627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100627>
15. Tousson E., Hafez E., Zaki S., Gad A. The cardioprotective effects of L-carnitine on rat cardiac injury, apoptosis, and oxidative stress caused by amethopterin. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016; 23(20): 20600–20608. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7220-1>
16. Hiraizumi M. et al. Transport and inhibition mechanism of the human SGLT2–MAP17 glucose transporter. *Nature Structural & Molecular Biology*. 2024; 31: 159–169. <https://doi.org/10.1038/s41594-023-01134-0>
17. Liu Y., Yu X., Zhao J., Zhang H., Zhai Q., Chen W. The role of MUC2 mucin in intestinal homeostasis and the impact of dietary components on MUC2 expression. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020; 164: 884–891. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.191>

FUNDING

The studies were supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-66-00061 «Expression of Genes for Productivity and Resistance in Chickens of the New Domestic Cross “Smena 9” and Its Effect on Immunity, and the Realization of the Genetic Potential for Productivity under Different Energy-Amino Acid Nutritional Regimes.»

REFERENCES

1. Fisinin V.I. et al. Supplementation of low-density diets for “Smena-9” broilers reared sex-separately with L-carnitine. *Ptitsevodstvo*. 2025; 74(3): 35–42 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2025-74-3-35-42>
2. Longo N., Frigeni M., Pasquali M. Carnitine transport and fatty acid oxidation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular Cell Research*. 2016; 1863(10): 2422–2435. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2016.01.023>
3. Murali P., George S.K., Ally K., Dipu M.T. Effect of L-carnitine supplementation on growth performance, nutrient utilization, and nitrogen balance of broilers fed with animal fat. *Veterinary World*. 2015; 8(4): 482–486. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2015.482-486>
4. Mohammadi V., Sharifi S.D., Sharafi M., Mohammadi-Sangcheshmeh A., Abedheydari E., Alizadeh A. Dietary L-carnitine affects the expression of genes involved in apoptosis and fatty acid metabolism in rooster testes. *Andrologia*. 2020; 52(11): e13876. <https://doi.org/10.1111/and.13876>
5. El-Katcha M.I. et al. Optimising Growth, Immunity, and Gene Expression in Broiler Chickens Through Dietary Threonine Levels and Oil Inclusion. *Veterinary Medicine and Science*. 2024; 10(6): e70046. <https://doi.org/10.1002/vms3.70046>
6. Müsse J., Louton H., Spindler B., Stracke J. Sexual Dimorphism in Bone Quality and Performance of Conventional Broilers at Different Growth Phases. *Agriculture*. 2022; 12(8): 1109. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081109>
7. Fisinin V.I. et al. Effects of compound feeds with different sources of lysine and methionine and lowered levels of these amino acids and metabolizable energy on the reproductive performance in male and female broiler breeders of cross “Smena 9”. *Ptitsevodstvo*. 2023; 72(10): 58–65 (in Russian). <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2023-72-10-58-65>
8. Rabie M.H., Szilágyi M., Gippert T., Votisky E., Gerendai D. Influence of Dietary L-Carnitine on Performance and Carcass Quality of Broiler Chickens. *Acta Biologica Hungarica*. 1997; 48(2): 241–252. <https://doi.org/10.1007/BF03543193>
9. Deryabin D. et al. Broiler Chicken Cecal Microbiome and Poultry Farming Productivity: A Meta-Analysis. *Microorganisms*. 2024; 12(4): 747. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12040747>
10. Hong Y.H., Song W., Lee S.H., Lillehoj H.S. Differential gene expression profiles of β -defensins in the crop, intestine, and spleen using a necrotic enteritis model in 2 commercial broiler chicken lines. *Poultry Science*. 2012; 91(5): 1081–1088. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01948>
11. Sugiarto H., Yu P.-L. Avian antimicrobial peptides: the defense role of beta-defensins. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2004; 323(3): 721–727. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2004.08.162>
12. Dittoe D.K., Olson E.G., Ricke S.C. Impact of the gastrointestinal microbiome and fermentation metabolites on broiler performance. *Poultry Science*. 2022; 101(5): 101786. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101786>
13. Aliyu M. et al. Interleukin-6 cytokine: An overview of the immune regulation, immune dysregulation, and therapeutic. *International Immunopharmacology*. 2022; 111: 109130. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2022.109130>
14. Ishikawa H. et al. L-Carnitine Prevents Progression of Non-Alcoholic Steatohepatitis in a Mouse Model with Upregulation of Mitochondrial Pathway. *PLoS ONE*. 2014; 9(7): e100627. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100627>
15. Tousson E., Hafez E., Zaki S., Gad A. The cardioprotective effects of L-carnitine on rat cardiac injury, apoptosis, and oxidative stress caused by amethopterin. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016; 23(20): 20600–20608. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7220-1>
16. Hiraizumi M. et al. Transport and inhibition mechanism of the human SGLT2–MAP17 glucose transporter. *Nature Structural & Molecular Biology*. 2024; 31: 159–169. <https://doi.org/10.1038/s41594-023-01134-0>
17. Liu Y., Yu X., Zhao J., Zhang H., Zhai Q., Chen W. The role of MUC2 mucin in intestinal homeostasis and the impact of dietary components on MUC2 expression. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020; 164: 884–891. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.191>

18. Ma S.L. *et al.* Association of prostaglandin-endoperoxide synthase 2 (PTGS2) polymorphisms and Alzheimer's disease in Chinese. *Neurobiology of Aging*. 2008; 29(6): 856–860. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2006.12.011>
19. Harding A.T., Heaton N.S The Impact of Estrogens and Their Receptors on Immunity and Inflammation during Infection. *Cancers*. 2022; 14(4): 909. <https://doi.org/10.3390/cancers14040909>
20. Ben-Batalla I., Vargas-Delgado M.E., von Amsberg G., Janning M., Loges S. Influence of Androgens on Immunity to Self and Foreign: Effects on Immunity and Cancer. *Frontiers in Immunology*. 2020; 11: 1184. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01184>
21. Xega V., Liu J.-L. Beyond reproduction: unraveling the impact of sex hormones on cardiometabolic health. *Medical Review*. 2024; 4(4): 284–300. <https://doi.org/10.1515/mr-2024-0012>
22. Qi X., Yun C., Pang Y., Qiao J. The impact of the gut microbiota on the reproductive and metabolic endocrine system. *Gut Microbes*. 2021; 13(1): 1894070. <https://doi.org/10.1080/19490976.2021.1894070>

ОБ АВТОРАХ

Елена Александровна Йылдырым^{1,2}

- доктор биологических наук, главный биотехнолог молекулярно-генетической лаборатории¹
 - доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства²
- deniz@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5846-5105>

Лариса Александровна Ильина^{1,2}

- доктор биологических наук, начальник молекулярно-генетической лаборатории¹
 - доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства²
- ilina@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>

Георгий Юрьевич Лаптев¹

- доктор биологических наук, директор
laptev@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>

Валентина Анатольевна Филиппова^{1,2}

- биотехнолог¹;
 - старший преподаватель кафедры крупного животноводства²
- filippova@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8789-9837>

Дарья Георгиевна Тюрина¹

- кандидат экономических наук,
заместитель директора по финансам
tiurina@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9001-2432>

Ксения Андреевна Соколова^{1,2}

- биотехнолог¹;
 - ассистент кафедры крупного животноводства²
- ksenya.k.a@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9541-6839>

Василий Александрович Заикин¹

- биотехнолог
dfcx@biotrof.ru

Екатерина Сергеевна Пономарева¹

- биотехнолог
kate@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4336-8273>

Владимир Иванович Фисинин³

- доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, научный руководитель
olga@vnitip.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0081-6336>

Иван Афанасьевич Егоров³

- доктор биологических наук, профессор, академик Российской академии наук, руководитель научного направления «Питание птицы»
<https://orcid.org/0000-0001-9122-9553>

18. Ma S.L. *et al.* Association of prostaglandin-endoperoxide synthase 2 (PTGS2) polymorphisms and Alzheimer's disease in Chinese. *Neurobiology of Aging*. 2008; 29(6): 856–860. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2006.12.011>

19. Harding A.T., Heaton N.S The Impact of Estrogens and Their Receptors on Immunity and Inflammation during Infection. *Cancers*. 2022; 14(4): 909. <https://doi.org/10.3390/cancers14040909>

20. Ben-Batalla I., Vargas-Delgado M.E., von Amsberg G., Janning M., Loges S. Influence of Androgens on Immunity to Self and Foreign: Effects on Immunity and Cancer. *Frontiers in Immunology*. 2020; 11: 1184. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01184>

21. Xega V., Liu J.-L. Beyond reproduction: unraveling the impact of sex hormones on cardiometabolic health. *Medical Review*. 2024; 4(4): 284–300. <https://doi.org/10.1515/mr-2024-0012>

22. Qi X., Yun C., Pang Y., Qiao J. The impact of the gut microbiota on the reproductive and metabolic endocrine system. *Gut Microbes*. 2021; 13(1): 1894070. <https://doi.org/10.1080/19490976.2021.1894070>

ABOUT THE AUTHORS

Elena Alexandrovna Yildirim^{1,2}

- Doctor of Biological Sciences, Chief Biotechnologist of the Molecular Genetics Laboratory¹
 - Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large-scale Animal Husbandry²
- deniz@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5846-5105>

Larisa Alexandrovna Ilyina^{1,2}

- Doctor of Biological Sciences, Head of the Molecular Genetics Laboratory¹
 - Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large-scale Animal Husbandry²
- ilina@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>

George Yurievich Laptev¹

- Doctor of Biological Sciences, Director
laptev@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>

Valentina Anatolyevna Filippova^{1,2}

- Biotechnologist¹;
 - Senior Lecturer of the Department of Large-scale Animal Husbandry²
- filippova@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8789-9837>

Daria Georgievna Tyurina¹

- Candidate of Economic Sciences,
Deputy Director of Finance
tiurina@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9001-2432>

Ksenya Andreevna Sokolova^{1,2}

- Biotechnologist¹;
 - Assistant of the Department of Large Animal Husbandry²
- ksenya.k.a@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9541-6839>

Vasily Alexandrovich Zaikin¹

- Biotechnologist
dfcx@biotrof.ru

Ekaterina Sergeevna Ponomareva¹

- Biotechnologist
kate@biotrof.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4336-8273>

Vladimir Ivanovich Fisinin³

- Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Scientific Supervisor
olga@vnitip.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0081-6336>

Ivan Afanasievich Egorov³

- Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Scientific Field "Poultry Nutrition"
<https://orcid.org/0000-0001-9122-9553>

Татьяна Анатольевна Егорова³

доктор сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник
eta164@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5102-2248>

Вардгес Агавардович Манукян³

доктор сельскохозяйственных наук, главный научный
сотрудник, заведующий отделом питания птицы
manukyan@vnitip.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4564-4427>

Татьяна Николаевна Ленкова³

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник, главный ученый секретарь
dissovet@vnitip.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8391-5000>

Ольга Николаевна Дегтярева³

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник
fncvnitip@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7243-7381>

Мария Сергеевна Тищенко³

младший научный сотрудник
tishenkova.m@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2911-5640>

Екатерина Сергеевна Демидова³

младший научный сотрудник
mixalysha@mail.ru

Лев Михайлович Кашпоров³

специалист
lev-lud2@live.ru
<https://orcid.org/0009-0000-5100-4843>

Виктория Евгеньевна Пашченко³

специалист
viktoriia_pashchenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7484-196X>

¹ ООО «Биотроф+»,
бульвар Загребский, 19, корп. 1, кв. 13,
Санкт-Петербург, 192284, Россия

² Санкт-Петербургский государственный аграрный
университет,
Петербургское шоссе, 2, Пушкин, Санкт-Петербург,
196601, Россия

³ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-
исследовательский и технологический институт
птицеводства»,
ул. Птицеградская, 10, Сергиев Посад, Московская обл.,
141311, Россия

Tatiana Anatolyevna Egorova³

Doctor of Agricultural Sciences,
Leading Researcher
eta164@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5102-2248>

Vardges Agavardovich Manukyan³

Doctor of Agricultural Sciences,
Chief Researcher, Head of the Poultry Nutrition Department
manukyan@vnitip.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4564-4427>

Tatiana Nikolaevna Lenkova³

Doctor of Agricultural Sciences, Professor,
Chief Researcher, Chief Scientific Secretary
dissovet@vnitip.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8391-5000>

Olga Nikolaevna Degtyareva³

Candidate of Agricultural Sciences, Researcher
fncvnitip@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7243-7381>

Maria Sergeevna Tishenkova³

Junior Researcher
tishenkova.m@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2911-5640>

Ekaterina Sergeevna Demidova³

Junior Researcher
mixalysha@mail.ru

Lev Mikhailovich Kashporov³

Specialist
lev-lud2@live.ru
<https://orcid.org/0009-0000-5100-4843>

Victoria Evgenievna Pashchenko³

Specialist
viktoriia_pashchenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7484-196X>

¹“Biotrof”+ Ltd,
19 Zagrebky Boulevard, 1 building, 13 apartment,
St. Petersburg, 192284, Russia

² Saint Petersburg State Agrarian University,
2 Peterburgskoye Shosse, Pushkin, Saint Petersburg, 196601,
Russia

³ Federal Scientific Center «All-Russian Research
and Technological Poultry Institute»,

10 Ptitsegradskaya Str., Sergiev Posad, Moscow Region,
141311, Russia